

Entwicklung von Stallgebäuden zur Milchviehhaltung unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen in ariden und semiariden Gebieten

Von der
Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades eines
Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von
Marwan Georges
geboren am 10.10.1969
aus Syrien

Eingereicht am	06. Oktober 2009
Disputation am	30. November 2009

Berichterstatter	Prof. Dipl.-Ing. Per Krusche Prof. Dr. agr. habil. Franz-Josef Bockisch
------------------	--

VORWORT

Tier- und umweltfreundliche sowie kostengünstige Haltungsverfahren, die hinsichtlich der Bau- und Verfahrenstechnik als zukunftsweisend einzustufen sind, gelten als wichtiges Ziel in der Nutztierhaltung. In Deutschland sind in der Milchkuhhaltung heute bei Neu- oder Umbauten Laufstallsysteme als Standard zu betrachten. In ariden und semiariden Gebieten kommt als besondere Herausforderung hinzu, dass die Umgebungstemperaturen für Milchkühe in einen tolerierbaren Bereich gebracht werden sollten. So nimmt beispielsweise ab etwa 25 °C die Milchleistung rapide ab und der Gesundheitszustand verschlechtert sich (u. a. nehmen Stoffwechselerkrankungen deutlich zu). Das bedeutet, dass durch eine geschickte Gebäudegestaltung, Baumaterialwahl und Lüftungs- bzw. Klimatechnik vor allem Hitzestress für die Rinder vermieden werden sollte. Globale Statistiken (z.B. FAO) weisen für solche Länder zudem auf Defizite bei der Milchproduktion hin. Die Unterversorgung ist nicht nur auf geringe Milchleistung der einheimischen Rassen, sondern auch auf schlechte, vorhandene Stallbausysteme zurückzuführen. Die Mehrzahl der Milchviehställe entspricht dort nicht dem geforderten Standard, im Hinblick auf ein tierangepasstes Umgebungsklima.

Die Problematik, mit der sich Herr **GEORGES** beschäftigt, ist nicht neu. Neu ist jedoch, dass der Wissensstand aktuell zusammengetragen und am Beispiel Syriens modellhaft angewendet wurde; das gilt auch wenn eine Reihe älterer Literaturstellen – mangels aktuellerer - verwendet wurde. Gerade in trockenen und warmen Gebieten hat die Umsetzung einer tiergerechten Milchkuhhaltung einen enormen Nachholbedarf. Dies gilt insbesondere unter dem Aspekt einer qualitativ hochwertigen Lebensmittelerzeugung. Um für diese Probleme eine Lösung zu finden, hat Herr **GEORGES** seine Arbeit in drei Hauptteile gegliedert und eine logische, nachvollziehbare Vorgehensweise erarbeitet. Dabei sind vor allem die Kombination von Literaturwissen, eigenen Versuchen, Modellbetrachtungen sowie die Entwicklung von modellhaften Lösungsvorschlägen für die genannten Regionen (Beispiel Syrien) bzw. Klimagebiete neu.

Die Arbeit wurde am Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL in Zusammenarbeit mit dem Institut für Entwicklungsplanung und Siedlungswesen der TU-Braunschweig durchgeführt. Insgesamt ist es dem **AUTOR** gelungen, Informationen aus den Fachgebieten, Milchkuhhaltung, landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, landwirtschaftliches Bauwesen und Architektur interdisziplinär zusammenzutragen, zu werten und darauf aufbauend eigene Versuche durchzuführen sowie Stallausführungsvarianten unter den beispielhaften Bedingungen Syriens zu planen.

Mit der vorgelegten Arbeit hat Herr **GEORGES** einen wichtigen Beitrag geleistet, um zukünftig moderne und tiergerechte Milchviehställe bzw. –anlagen in ariden und semiariden Gebieten zu realisieren. Dabei wird ein besonderer Schwerpunkt auf die Gebäudeausführung gelegt, um tierangepasste Umgebungstemperaturen für Milchkühe zu erreichen. Das darüber hinausgehende Ziel ist eine Leistungssteigerung in der Milchproduktion Syriens, wobei auch die Baumaterialien, variable Kosten und Produktionskosten sowie Tiergerechtigkeit, Umweltschutz und Arbeitsplatzgestaltung wesentliche weitere Kriterien sind. Es galt also Lösungsmöglichkeiten zu finden, um die Milchkuhhaltung in ariden und semiariden Gebieten besser, effektiver, tiergerechter und umweltschonender zu konzipieren. Gleichzeitig ist es möglich, durch die verbesserte Informationsgrundlage das Management in der Milchkuhhaltung dort effizienter zu gestalten. Insbesondere wird örtlichen Planern für Milchviehhaltungsanlagen ein klarer, fundierter und anschaulicher Leitfaden an die Hand gegeben, um individuelle und standortangepasste Stallanlagen zu konzipieren. Damit sind vom **AUTOR** gute Vorraussetzungen geschaffen worden, den Anliegen an effektive Produktionsverfahren sowie einer verbesserten Tiergesundheit – unter Berücksichtigung von Tierschutzkriterien – in ariden und semiariden Gebieten besser gerecht zu werden.

Übersicht

Kapitel 1	Einführung
Kapitel 2	Allgemeiner Überblick der Rinderhaltung
Kapitel 3	Analyse der Gegebenheiten der Rinderhaltung unter den Klimabedingungen Syriens
Kapitel 4	Bauliche Grundsätze für Rinderstallbauten
Kapitel 5	Methoden zur Hitzestressvermeidung und zur Stall- und Gebäudekühlung
Kapitel 6	Praktische Versuchsausführung zu Baumaterialien
Kapitel 7	Planerische Lösungsvorschläge für moderne Milchviehställe
Kapitel 8	Diskussion und Schlussfolgerung
Kapitel 9	Zusammenfassung
Kapitel 10	Zitierte Literatur und Abbildungs- und Tabellenverzeichnis
	Anhang

Inhaltverzeichnis

Vorwort	I
Übersicht und Inhaltverzeichnis	II
Abkürzungs- und Zeichenverzeichnis	VI
1 Einführung	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Problemstellung	3
1.2.1 Hintergrund	3
1.2.2 Hauptprobleme	3
1.3 Zielsetzung	5
1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	6
2 Allgemeiner Überblick der Rinderhaltung	9
2.1 Bedeutung der Rinder	9
2.1.1 Produzent für hochwertiges tierisches Eiweiß	9
2.1.1.1 Fleisch	11
2.1.1.2 Milch und Milchproduktion	12
2.1.1.3 Blut	13
2.1.2 Nutzung als Arbeitstiere	13
2.1.3 Lieferant von Dung	14
2.1.4 Rinder als Lieferant von Häuten	15
2.1.5 Weitere Nutzung der Rinder	15
2.2 Rinderhaltung weltweit	16
2.2.1 Verteilung der Erdbevölkerung und der Rinderpopulation	16
2.2.2 Wichtige Faktoren für die Rinderverbreitung	17
2.2.2.1 Natürliche Faktoren	17
2.2.2.2 Ökonomische und soziale Faktoren	19
2.2.3 Technologische Verfahren der Rinderproduktion	20
2.2.3.1 Verfahren der Rinderhaltung zur Zugtiernutzung	20
2.2.3.2 Verfahren der Schlachtrinderproduktion	22
2.2.3.3 Verfahren der Milchproduktion mit Kühen	26
3 Analyse der Gegebenheiten der Rinderhaltung unter den Klimabedingungen Syriens	29
3.1 Milchviehhaltung in Syrien	29
3.1.1 Allgemeiner Überblick Syriens (Geographie, Klima und Bodennutzung)	29
3.1.2 Rinder und Milchproduktion	31
3.1.3 Territoriale Verbreitung der Rinderbestände	33
3.1.4 Hauptrinderrassen	35

3.1.5	Verfügbare Futtermittel für die Rinder	36
3.1.6	Haltungs- und Stallsysteme	37
3.1.6.1	Erstes Beispiel: Geschlossener Stall	39
3.1.6.2	Zweites Beispiel: Offenstall	40
3.2	Klimatische Gegebenheiten Syriens	41
3.2.1	Allgemeine Klimacharakteristik des Homs-Gebietes	41
3.2.2	Sonne und Temperatur	41
3.2.3	Wind und Luft	43
3.2.4	Luftfeuchtigkeit und Niederschläge	43
4	Bauliche Grundsätze für Rinderstallbauten	45
4.1	Körpermaße sowie Raum- und Flächenbedarf der Rinder	45
4.2	Bewegungsfläche	46
4.3	Bauliche Maßnahmen und Grundsätze der Funktionsbereiche	48
4.3.1	Ruhen und Schlafen: Liegeboxen	48
4.3.1.1	Bauliche Maßnahme und Dimensionen	48
4.3.1.2	Grundsätze und Empfehlungen	50
4.3.2	Laufen	50
4.3.2.1	Bauliche Maßnahmen und Dimensionen	50
4.3.2.2	Grundsätze und Empfehlungen	52
4.3.3	Fressen: Futterbereich	53
4.3.3.1	Bauliche Maßnahmen und Dimensionen	53
4.3.3.2	Grundsätze und Empfehlungen	56
4.3.4	Trinken: Trinktröge und Becken	57
4.3.4.1	Bauliche Maßnahmen und Dimensionen	57
4.3.4.2	Grundsätze und Empfehlungen	58
4.3.5	Melken	58
4.3.5.1	Bauliche Maßnahmen und Dimensionen	58
4.3.5.2	Grundsätze und Empfehlungen	60
4.3.6	Entmistung	62
4.3.6.1	Bauliche Maßnahme und Dimensionen	62
4.3.6.2	Grundsätze und Empfehlungen	63
4.3.7	Auslauf	64
4.3.7.1	Bauliche Maßnahmen und Dimensionen	64
4.3.7.2	Grundsätze und Empfehlungen	64
4.3.8	Stallklima – Grundsätze und Empfehlungen	65
4.3.8.1	Grundsätze für Sonnenschutz	65
4.3.8.2	Grundsätze für Stalllüftung	65
4.3.8.3	Grundsätze für Stalllüftung mit Großraumventilatoren und Ventilatoren mit Unterstü- tzungslüftung	66
4.3.8.4	Grundsätze für Belichtung und Beleuchtung	67
4.4	Raumbedarf für Remisen und Einzelmachines	68
4.5	Transportachsen	70
5	Methoden zur Hitzestressvermeidung und zur Stall- und Gebäudekühlung	71
5.1	Einleitung	71
5.2	Mensch und Klima – Komfortbereich	72
5.3	Schutz vor Sonneneinstrahlung	73
5.3.1	Bauliche Maßnahmen für menschliche Gebäude	73
5.3.2	Maßnahmen zur Verminderung des Wärmedurchgangs	77
5.3.3	Bauliche Maßnahmen zum Schutz von Sonneneinstrahlung für Rinder-Stallbauten	80
5.3.3.1	Schutz gegen die Strahlungswärme	80
5.3.3.2	Schutz gegen die Wärmeeinstrahlung	82
5.4	Gebäudekühlung durch Lüftung	85
5.4.1	Natürliche Lüftung zur Kühlung von menschlichen Gebäuden	85
5.4.2	Einführung Stallkühlung mit Lüftung	89
5.4.2.1	Einführung Kühlwirkung und Lüftungseinrichtungen	89
5.4.2.2	Stallkühlung durch natürliche Lüftung	89

5.4.2.3	Stallkühlung mit Ventilatoren	90
5.4.2.4	Stallkühlung mit Tunnellüftung	91
5.5	Nachtkühlung	93
5.5.1	Funktionsprinzip	93
5.5.2	Einführung Kaltluftsee und Nachtkühlung	94
5.5.3	Luftkühlung	94
5.5.4	Bauteilekühlung	95
5.5.4.1	Prinzip	95
5.5.4.2	Wärmespeicherung der Bauteile	95
5.5.4.3	Abstrahlung in den Nachthimmel	96
5.5.4.4	Aktive Wärmespeichersysteme durch zusätzliche Speicherelemente	97
5.5.4.5	Stallkühlung durch Schotterspeicher	99
5.6	Verdunstungskühlung	99
5.6.1	Funktionsprinzip	99
5.6.2	Einsetzungsmöglichkeiten in menschlichen Gebäuden	100
5.6.3	Einsatzmöglichkeiten bei Rinderstallbauten	101
5.6.3.1	Befeuchtungsverfahren	101
5.6.3.2	Ausnutzung für die Stallkühlung	102
5.7	Gebäudekühlung durch Windfänge	103
5.7.1	Aufgabe und Funktionsprinzip	103
5.7.2	Kühlung der menschlichen Gebäude durch Windfänge	104
5.7.2.1	Kühltürme und Verdunstungskälte (Verbindung mit Grundwasser)	105
5.7.2.2	Windfänge mit Verdunstungskühlung (übliche Bauform)	106
5.7.3	Kühlung der Rinderstallgebäude durch Windfänge	106
5.8	Gebäudekühlung durch Luft-Erdwärmetauscher	108
5.8.1	Bedeutung	108
5.8.2	Prinzip	108
5.8.3	EWT-Verfahren: Erdtunnel und -rohre	109
5.8.3.1	Erdkanal	109
5.8.3.2	Erdrohre	110
5.8.4	Einflussfaktoren auf die Luftaustrittstemperatur bei EWT	110
5.8.5	Empfehlungen	114
5.8.6	Anwendung der L-EWT in landwirtschaftlichen Gebäuden und Einfluss des Erdwärmetauschers auf das Stallklima	115
6	Praktische Versuchsausführung zu Baumaterialien	117
6.1	Einleitung	117
6.2	Versuche: Dachneigung	119
6.2.1	Beispiele für bisherige Versuche	120
6.2.2	Versuch (V_{1A}): Auswirkung der Dachneigung und -beschichtung auf die Oberflächentemp.	121
6.2.2.1	Verlauf des Versuches	121
6.2.2.2	Ergebnisse und Auswertung	123
6.2.3	Versuch (V_{1B}): Erwärmung geneigter weißer Flächen durch Sonneneinstrahlung	125
6.2.3.1	Verlauf des Versuches	125
6.2.3.2	Ergebnisse und Auswertung	126
6.3	Versuche: Wärmedurchgang und Temperaturspeicherung bei Außenwänden	129
6.3.1	Einführung Bisherige Versuche	129
6.3.1.1	Auswirkung der Sonneneinstrahlung auf Oberflächentemperatur in Bezug auf Materialwahl und Hüllflächentemperaturen	129
6.3.1.2	Wärmespeicherung und Phasenverschiebung bei Baumaterialien und Bauweise	130
6.3.2	Einführung Versuch (V_2): Wärmedurchgang bei Massivwänden in Abhängigkeit von der Konstruktionsdicke – Amplitudenverschiebung	132
6.3.2.1	Versuchsverlauf	132
6.3.2.2	Ergebnisse und Auswertung	133
6.3.3	Versuch (V_3): Wärmespeicherung unterschiedlicher Baustoffe	137
6.3.3.1	Verlauf des Versuchs	137
6.3.3.2	Ergebnisse und Auswertung	139
6.4	Zusammenfassung der Versuchsausführung	142

7	Planerische Lösungsvorschläge für moderne Milchviehställe	145
7.1	Einleitung	145
7.2	Entwurfsgrundlagen für Stallgebäude	145
7.2.1	Gestaltung der landwirtschaftlichen Gebäude	146
7.2.2	Optische Gliederung der landwirtschaftlichen Gebäude	146
7.2.3	Funktions- und Raumprogramm	147
7.2.4	Arbeitsachsen	148
7.3	Ausgangssituation der Lösungsvorschläge	148
7.3.1	Standort	148
7.3.2	Raumprogramm	149
7.3.3	Schaffung eines Moduls und Maßsysteme für die Lösungsvorschläge	149
7.4	Lösungsvorschläge für die Milchviehhaltung	151
7.4.1	Lösungsalternative (L _A): Geschlossener Stall	151
7.4.1.1	Grundidee	151
7.4.1.2	Hauptidee	152
7.4.1.3	Weitere Ideen und Möglichkeiten	154
7.4.2	Lösungsalternative (L _B): Halb geschlossener Stall	161
7.4.2.1	Grundidee	161
7.4.2.2	Hauptideen	161
7.4.2.3	Weitere Möglichkeiten	164
7.4.3	Lösungsvorschlag (L _C): Offenstall	171
7.4.3.1	Erste Lösung (L _{C1})	171
7.4.3.2	Zweite Lösung (L _{C2})	172
7.4.3.3	Weitere Überlegungen zur Dachgestaltung	173
7.5	Lüftungsberechnungen	178
7.5.1	Grundlagen, Empfehlungen und Richtwerte	178
7.5.1.1	Wärmeabgabe der Kühe und Luftvolumenstrom	178
7.5.1.2	Lüftungsrate nach verschiedener Literatur	180
7.5.1.3	Luftgeschwindigkeit und Kühlwirkung	181
7.5.1.4	Zuluftöffnungen	182
7.5.2	Berechnungsverfahren	182
7.5.2.1	Wärmeproduktion und Sommerluftvolumenstrom	182
7.5.2.2	Berechnung der Stallflächen und Volumen	184
7.5.2.3	Luftwechselrate	185
7.5.2.4	Zuluftöffnungen	185
7.5.2.5	Erdwärmetauscher - Berechnungen	190
7.6	Zusammenfassung der Lösungsvorschläge	195
8	Diskussion und Schlussfolgerung	199
8.1	Diskussion	199
8.2	Schlussbetrachtung und Empfehlungen	205
9	Zusammenfassung	207
10	Zitierte Literatur und Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	211
9.1	Zitierte Literatur	211
9.2	Abbildungsverzeichnis	223
9.3	Tabellenverzeichnis	227
	Anhang	229
	Anhang 1 Zu allgemeinen Grundlagen der Milchviehhaltung	229
	Anhang 2 Zu den Versuchen	269
	Anhang 3 Erläuterung einiger bauphysikalischer Begriffe	283
	Kurzfassung	
	Summary	
	Danksagung	
	Lebenslauf	

Abkürzungs- und Zeichenverzeichnis

Allgemeine Abkürzungen

Abb.	Abbildung
bearb.	bearbeitet
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa; zirka
d. h.	das heißt
DWD	Deutscher Wetterdienst
FAL	Forschungsanstalt für Landwirtschaft
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation
FAOSTAT	Statistik der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation
Hrsg.	Herausgeber
insges.	insgesamt
ldw. , landw.	landwirtschaftlich
L-EWT	Luft-Erdwärmetauscher
mind.	mindestens
Nr.	Nummer
o. A.	Ohne Angabe (n)
o. a.	oder andere (s)
/	pro, je
%	Prozent
s.	siehe
S.	Seite
SAR	Syrische Arabische Republik
SARSTAT	Syrische Statistik Abstrakt
SARSTAT Ldw	Syrische Statistik für Landwirtschaft
Tab.	Tabelle
u., &	und
u. a.	unter andere (s)
u. ä.	und ähnlich
u. a. m.	und andere mehr
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
v. a.	von allem, vor allen
z. B.	zum Beispiel

Stallbauliche Abkürzungen

BH	Boxenhöhe	KR	Kopfraum
BL	Boxenlänge	NR	Nackenriegel
GB	Gangbreite	SB	Schulterbreite
GVE	Großvieheinheit	TB	Torbreite
GST	Gegenständige Liegeboxen	TFV	Tier-Fressplatz-Verhältnis
FB	Fressplatzbreite	WH	Widerristhöhe der Kuh
KL	Körperlänge	WST	Wandständige Liegeboxen

Bauphysikalische Abkürzungen

(l), (b), (h), (d)	Länge, Breite, Höhe, Dicke	[m], [cm], [mm]	(c)	Spezifische Wärmekapazität	[J/kgK]
(A)	Fläche	[m ²]	(S)	Wärmespeicherzahl	[Wh/m ³ K]
(V)	Volumen	[m ³], [l]	(z)	Auskühlzeit	[h]
(m)	Masse	[kg]	(Φ)	Phasenverschiebung	[h]
(ρ)	Rohdichte	[kg/m ³]	(a)	Temperaturleitzahl	[m ² /s]
(θ)	Temperatur - Celsius	[°C]	(Q _s)	Wärmespeichervermögen	[kJ/m ² K]
(T), (Θ)	Temperatur - Kelvin	[K] Kelvin	(Q)	Wärmedurchgang	[W]
(φ)	Relative Luftfeuchte	[%]	(R)	Wärmedurchlasswiderstand	[m ² K/W]
(h)	Sonnenhöhenwinkel	[°]	(Q)	Wärmeleitung	[W]
(a)	Azimutwinkel	[°]	(λ)	Wärmeleitfähigkeit	[W/mK]
(n)	Neigungswinkel	[°]	(k)	Wärmedurchgangskoeffizient	[W/m ² K]
(G)	Globalstrahlung	[W/m ²], [J/cm ²]	(b)	Wärmeeindringzahl	[kJ/m ² h ^{0,5} K]
(t)	Zeit	[h], [Std.], [Min.], [s]	(V)	Temperatur-Amplituden-Verhältnis (TAV)	

KAPITEL

1

Einführung**1.1 Einleitung**

Das Rind erscheint den Menschen heute als das unentbehrlichste aller Haustiere. Es ist während seines Lebens wie auch nach seinem Tode nutzbar. Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Rindes liegt vor allem in der Milcherzeugung. Die Produktion von Kuhmilch hat im Hinblick auf die Deckung des Bedarfes der Menschen an tierischem Fett im Weltmaßstab eine große Bedeutung. Die Milch ist an ihrem Nährwert gemessen eines der billigsten und vollkommensten Nahrungsmittel. Sehr wertvoll sind die in der Milch enthaltenen Vitamine und Mineralstoffe. Diese hervorragenden Eigenschaften der Milch machen es verständlich, dass der Verbrauch ansteigt. Außer den für die menschliche Ernährung so unentbehrlichen Nahrungsmitteln wie Milch, Milcherzeugnissen (Butter, Käse usw.), Fleisch und Fett, liefert das Rind wertvolle Rohstoffe auch für andere Industriezweige. Zu diesen Rohstoffen gehören Rinderdung, Häute, Haare, Knochen und Horn.

Neben den Vorteilen der Rinderhaltung hat sie auch Nachteile für Menschen, Klima, Umwelt und Wirtschaft. Diese Probleme können in folgenden Punkten zusammenfasst werden:

- **Überweidung:** Die Überweidung durch die Rinder spielt in den Entwicklungsländern eine verheerende Rolle. Speziell in Afrika, wo riesige Rinderherden das Grasland abweiden, ist die Desertifikation (fortschreitende Wüstenbildung) nicht mehr abzuwenden.
- **Erwärmung der Atmosphäre:** Rinder produzieren CO₂ und Methangas. Die weltweit 1,5 Milliarden Rinder sind verantwortlich für 18 % der Treibhausgase, die die globale Erwärmung verursachen, mehr als Autos, Flugzeuge und alle anderen Formen von Verkehr zusammen. Durch die Rinderhaltung werden 9 % der CO₂-Emissionen und 37 % des Methangasausstoßes erzeugt (STEINFELD et al., 2006).
- **Wasserversorgung:** Die Tierproduktion hat auch starke Auswirkungen auf die weltweite Wasserversorgung, weil dafür große Mengen wertvollen Trinkwassers benötigt werden.
- **Moralische Probleme (Hungersnöte durch Rindfleischproduktion):** Rinder und anderes Vieh fressen über 70 % des in der USA produzierten Getreides, weltweit wird etwa ein Drittel der gesamten Getreideernte an Vieh verfüttert (MADEL, 2001).

Wegen der großen Nachfrage der Menschen nach tierischem Fett und Eiweiß wurde intensivere Haltung angestrebt, um den großen Bedarf an Nahrung zu befriedigen. Aus diesem Grund werden Rinder in Intensivställen gehalten, in denen die Kühe den größten Teil ihres Lebens verbringen.

Diese intensive Haltung war früher erforderlich, aber nicht immer tiergerecht. Das bedeutet, dass die Gesundheit der Tiere und ihre Leistung erheblich von den Stallverhältnissen beeinflusst werden. Außerdem dienen die Ställe als Arbeitsstätte; die Arbeitsproduktivität hängt entscheidend von der baulichen Anordnung und den technischen Einrichtungen der Gebäude ab. Durch die weitere Entwicklung und durch Maßnahmen zum Tierschutz wurde die Stallhaltung immer tiergerechter. Dabei gewinnt das Raumklima für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Menschen und Tiere ständig an Bedeutung.

Die Stallgebäude dienen abhängig von Klimagebiet und äußeren Einflüssen folgenden Zwecken:

- a.** Schutz der Menschen, Tiere und Materialien gegen ungünstige klimatologische Bedingungen und Witterungsunbilden; Abschwächung der Schwankungen der Außentemperatur und Förderung der Behaglichkeit,
- b.** die Belastungen von Luft und Wasser, welche von der Nutztierhaltung ausgehen, für die Umwelt gering zu halten und
- c.** das Landschaftsbild möglichst nicht zu stören.

Zu diesem Zweck sind die vier wichtigsten physikalischen Elemente des Raumklimas: Temperatur, Feuchte und Geschwindigkeit der Raumlufte sowie innere Oberflächentemperatur der Raumbegrenzungen so aufeinander abzustimmen, dass sich für Menschen behagliche und für das Vieh leistungsfördernde, stets jedoch gesunde Umweltverhältnisse einstellen (BORCHERT, 1970).

Die wichtigste Aufgabe der Architekten und Bauingenieure ist es, eine optimale behagliche Umgebung für die Menschen und Tiere zu schaffen. Die richtige Lösung dieser Aufgabe erfordert umfassende Kenntnisse in folgenden Punkten:

- Landwirtschaft und Tierproduktion: Die Grundlagen der Milchviehhaltung, Haltungs- und Stallsysteme, Funktionen (Fütterung, Ruhen, Laufen, Auslaufen, Weiden, Melken, Misten usw.).
- Architektur und Landschaft: Die innere Planung des Stalles muss die Grundsätze für Stallbauten, Abmessungen, Flächen- und Volumenbedarf, Bewegungsfläche, bauliche Anforderungen für verschiedene Funktionsbereiche berücksichtigen. Die äußere Planung soll die Grundlagen der Gestaltung und Orientierung der Stallgebäude, Futterlager, Strohlager, Mistlager und Behälter usw. sowie die richtigen Verkehrsverbindungen beachten. Bzgl. des Landschaftsbildes müssen hier die Außenansicht, Baumaterialien und Farbe sowie Gebäudgestaltung berücksichtigt werden.
- Lüftungs- und Kühlungstechnik: In dieser Hinsicht müsste hier über Stallklima und optimale Raumumgebung der Tiere informiert werden. Dieser Punkt befasst sich mit den physiologischen Eigenschaften der Rinder, insbesondere Wärmeabgabe, Hitzestress, Milchleistung, behagliche Umgebung. Hierzu sind Kenntnisse der Baumaterialien, der Bauphysik sowie der Lüftungs- und Kühlungssysteme notwendig. Dazu gehören auch die traditionelle Klimaanpassung im Architekturentwurf und die Berücksichtigung der Baukonstruktion.

1.2 Problemstellung

1.2.1 Hintergrund

Die Entwicklung der landwirtschaftlichen und tierischen Produktion gewinnt neben der Industrie immer mehr an Bedeutung. Diese Produktion bildet die Nahrungsgrundlage des Menschen und damit die Basis der Industrie. Die Bedeutung dieser Entwicklung wurde in den hoch entwickelten Ländern seit langem erkannt und soll nun auch in den Entwicklungsländern in die Praxis umgesetzt werden. Syrien hat dieses Problem als vorrangig eingestuft und ist seit einigen Jahren bestrebt, die Entwicklung in diesem Bereich voranzutreiben. Trotzdem fehlen Syrien, das auch ein wichtiges Land ist, die wissenschaftlichen Methoden für eine nachhaltige Entwicklung der tierischen Produktion (44 % der Idw. Produktion) (SARSTAT, 2008).

Gleichzeitig ist Syrien wie die anderen Länder in ariden und semiariden Gebieten immer noch nicht in der Lage, den eigenen Bedarf mit tierischen Produkten zu decken. Der Mangel an Milch und Milchprodukten stellt ein großes Problem für die Ernährung der Völker dieser Länder dar. Zum Vergleich beträgt die Milchproduktion in Deutschland pro Kopf der Bevölkerung ca. 345 kg/a, in Syrien zum Beispiel ca. 110 kg/a (FAOSTAT, 2009). Der ständig steigende Bedarf an Nahrungsmitteln tierischer Herkunft führt in diesen Ländern und in Syrien zu einer beträchtlichen Erhöhung der Rinderbestände durch den Import europäischer Milchkuhrassen. Um den Milchimport aus Europa zu reduzieren, sollen Defizite der Eigenproduktion durch diese europäischen Rassen kompensiert werden.

Die Landwirtschaft Syriens steht vor der Aufgabe, in einem relativ kurzen Zeitraum von nur 15 bis 20 Jahren die Rinderproduktion wesentlich zu erhöhen. Nach auf dem Bevölkerungszuwachs beruhenden Bedarfsberechnungen müssen in den nächsten Jahren ausreichend Milch und Fleisch für die Versorgung der Bevölkerung zur Verfügung gestellt werden. Aus diesen Gründen unternimmt das Ministerium für Landwirtschaft und Agrarform Syriens gegenwärtig erhebliche Anstrengungen zur Entwicklung der staatlichen Milchproduktionsbetriebe und Milchgenossenschaften.

1.2.2 Hauptprobleme

A. Ungenügende Milchviehhaltung sowie Milchproduktion

Die Hauptursache dieses Problems ist es, dass die Milchleistung einheimischer Rassen der ariden und semiariden Regionen gering ist und im Vergleich zu den europäischen Hochleistungskühen um 70 % niedriger liegt.

Die leistungsstärkeren Rassen (z. B. Holstein-Friesian-Kühe) werden in diesen Regionen nicht genutzt, weil die Tiere die Hitze nicht so gut vertragen, sie nicht gegen vorherrschende Krankheiten resistent sind und sie einen höheren Anspruch an Menge und Qualität des Futters haben.

Die hohen Außentemperaturen wirken sich negativ auf die Milchleistung der modernen Hochleistungsrassen aus. In ariden und semiariden Gebieten, wie z. B. in Syrien, herrschen in den Sommermonaten durchschnittliche Tagestemperaturen von 33 °C (Abb. 1.01 und 1.02). Diese extrem hohen Temperaturen stellen für HF-Kühe eine enorme Belastung dar, so dass ihre

Milchleistung um ca. 30 % abfällt und sich auch ihr Appetit zur Fütterung reduziert (Abb. 1.03 und 1.04). Der optimale Temperaturbereich für HF-Kühe liegt zwischen 0 und 20 °C. Eine nahezu unlösbare Aufgabe für Planer in dieser Region.

Der Mangel bei der Milchproduktion in den ariden und semiariden Gebieten entsteht nicht nur wegen des Leistungsmangels der lokalen Rassen, sondern auch wegen der kostenaufwendigen Futterproduktion. Futtermangel und Transportprobleme sind weitere Ursachen des Milchmangels. Für die Milchviehbetriebe, die sich bei Damaskus befinden, liegt die Transportentfernung für Konzentratfutter bei 200 - 250 km und für das zu etwa 47 % in einer Ration enthaltene Grobfutter sogar bei etwa 800 km (GEBRESELASSIE, 2000).

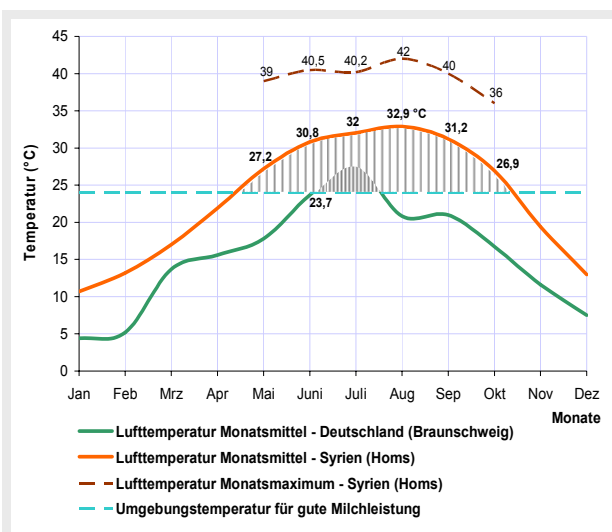


Abb. 1.01: Jährliche durchschnittliche Temperaturen Syriens und Deutschlands (bearb. n. ALEX, 1985; DWD)

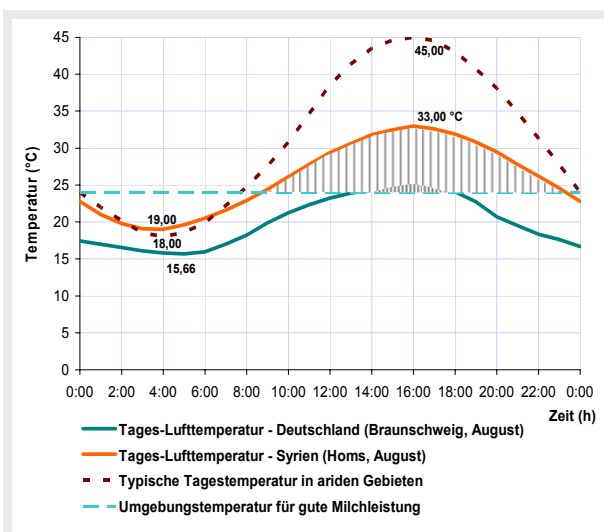


Abb. 1.02: Stündliche durchschnittliche Temperaturen Syrien und Deutschland (bearb. n. ALEX, 1985; AKRAA, 1998; DWD)

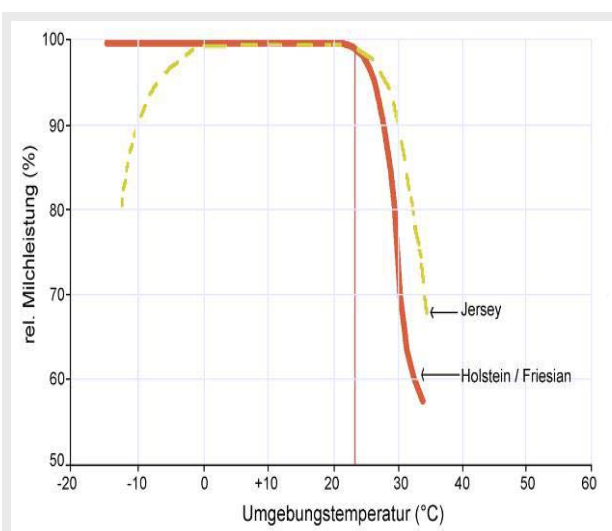


Abb. 1.03: Relative tägliche Milchleistung von Kühen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (YECK und STEWART, 1959)

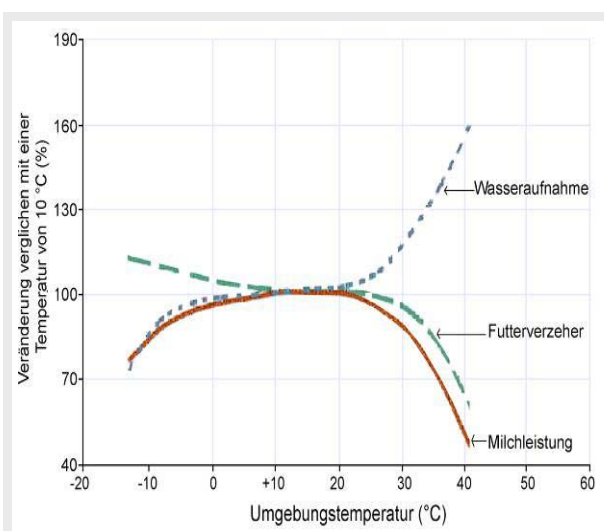


Abb. 1.04: Auswirkung der hohen Temperaturen auf Futterverzehr, Milchleistung und Wasseraufnahme (HUBER, 1996)

B. Haltungssysteme und Stallgebäude

Unzureichende Haltungsformen und mangelnde Gesundheitsversorgung der Rinder sind vor allem auf dem Lande verbreitet. Die meisten Milchviehhaltungsstationen in Syrien entsprechen nicht dem gewünschten Standard. Die gegenwärtigen Rinderställe sind mit geschlossenem oder offenem System gebaut. Beide Systeme sind nicht klimatisch angepasst und entsprechen nicht den Anforderungen der Stallhygiene. Wenn Stallgebäude nicht klimatisiert, d. h. nicht gekühlt werden, kann die Stallinnentemperatur im Regelfall nicht unter die Außenlufttemperatur abgesenkt werden. Bei schlechter Belüftung, besonders in Verbindung mit hoher Luftfeuchte, treten folgende Probleme auf:

- Die Gesundheit der Kühe wird beeinflusst und ihre Milchleistung nimmt ab.
- Die Gesundheit des Tierhalters wird gefährdet. Augenreizung, Bronchialsymptome usw.
- Schadgase schädigen die Bausubstanz.

Die mechanische Klimatisierung des Stalles und die Verwendung von hochwertigen Bauweisen sind zu kostspielig in Bezug auf den Gewinn der Produktion. Der Einsatz von Klima-, also Kühltechnik, scheidet wegen der damit verbundenen Investitions- und Unterhaltskosten in der Regel aus, die Milchproduktion würde unrentabel.

C. Stallgebäude und Umwelt

Die aktuellen landwirtschaftlichen Bauten stehen überwiegend am Rand der Stadt oder in der freien Landschaft. Hier beeinflussen sie in einem hohen Maß das Landschaftsbild und die Umwelt. Um dem Wunsch nach Kostensenkung gerecht zu werden, finden untypische Materialien und Farben Verwendung. Dies führt dazu, dass sich die Bauten mitunter nur schwierig in die Landschaft einpassen.

1.3 Zielsetzung

Um die optimale Milchleistung der importierten europäischen Hochleistungskühe (z. B. Friesian) in den ariden und semiariden Regionen zu erreichen, müssen sie unter bestimmten Bedingungen in behaglicher Raumumgebung gehalten werden, damit ihre Milchleistung nicht negativ beeinflusst wird. Die Frage ist also „**Wie können Milchkuhrassen in ariden und semiariden Gebieten gehalten werden unter Beibehaltung ihrer optimalen Milchleistung**“. Die Antwort wird in folgende Punkte gegliedert:

- Maßnahmen zur Klimaanpassung:
 - Nutzung der traditionellen Lüftungs- und Kühlungsverfahren,
 - Verwendung der Baumaterialien, besonders traditionelle Materialien, die die Innenstalltemperatur regulieren können und
 - Nutzung des lokalen Klimas für Stalllüftung und -kühlung.
- Entwicklung moderner, funktionaler Stallgebäude nach europäischem Standard unter Berücksichtigung der klimatischen Gegebenheiten in Syrien.

1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Um die erwähnten Arbeitsziele zu erreichen, wird die Arbeit, wie in Abb. 1.05 und 1.06 dargestellt, gegliedert. Der schematische Arbeitsablauf in der Abbildung 1.06 verdeutlicht die Hauptabschnitte der Dissertation. Die vorliegende Arbeit ist inhaltlich in drei Teile gegliedert:

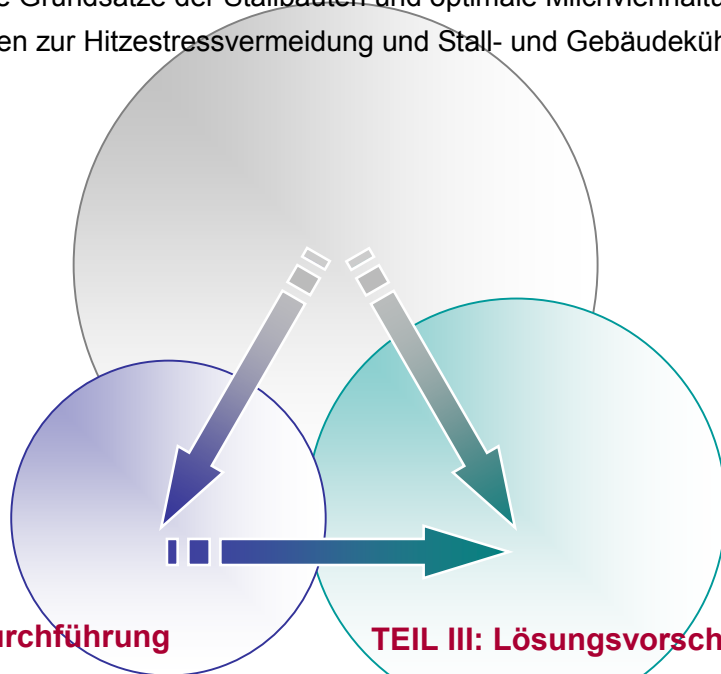
- **Teil I (Stand des Wissens und Ausgangssituation):** basiert auf der Recherche, Analyse und Auswertung der vorhandenen literarischen Materialien und stellt einen wichtigen Teil der Arbeit dar. Er besteht aus den folgenden Kapiteln:
 - Kapitel 2: umfasst den allgemeinen Überblick über die Rinderhaltung und ihre Bedeutung und Haltungsverfahren weltweit.
 - Kapitel 3: analysiert die syrischen Gegebenheiten von Milchviehhaltung und Klima. Es umfasst den allgemeinen Überblick über Rinderhaltung, Statistik und Rinderverbreitung, Stall- und Haltungssysteme sowie Vorstellung und Beschreibung einiger Beispiele für Milchviehanlagen. Dieser Teil analysiert die Klimadaten der Temperaturen, Sonne, Wind und Niederschläge für Syrien. Es werden hier die klimatischen Gegebenheiten für ein mittleres Gebiet in Syrien (Homs) vorgestellt und analysiert.
 - Kapitel 4: beschäftigt sich mit den Grundsätzen des Rinderstallbaus und tiergerechter Abmessungen, Flächen- und Volumenbedarf, Bewegungsfläche, baulichen Funktionen und Orientierung der inneren und äußeren Einrichtungen.
 - Kapitel 5: beschreibt die bekannten Methoden zur Vermeidung der extremen Sonneneinstrahlung und die passiven und aktiven Systeme für die Kühlung von menschlichen und tierischen Gebäuden, die anhand von Lüftung, Nachtkühlung, Kältespeicherung, Windfängen, Erdwärmetauschern und Verdunstungskälte arbeiten.
- **Teil II - Kapitel 6 (Versuchsdurchführung):** umfasst einige praktische Versuche zu Baumaterial und Verschattung. Hier werden Dachneigungen und Außenwände im Verhältnis zur Himmelsrichtung untersucht sowie bauphysikalische Eigenschaften von Baumaterialien, um die Sonneneinstrahlung zu reduzieren. Die Versuchsergebnisse und das Fazit der theoretischen Kapitel werden als Grundlage für die Entwürfe und die Lösungsvorschläge für moderne Milchviehhaltung in Syrien verwendet.
- **Teil III - Kapitel 7 (Lösungsvorschläge):** befasst sich mit den funktionalen Erfordernissen moderner Milchviehställe. Dabei werden die Ziele moderner Stallplanung in anwendbaren Entwurfsprinzipien festgelegt. Für die vorgeschlagenen Entwürfe werden einige Lüftungsrechnungen durchgeführt unter Verwendung eines Simulationsprogramms. Anschließend werden die von dem Verfasser vorgeschlagenen Schritte und Empfehlungen für den Stallbau in ariden und semiariden Gebieten zusammengefasst.

Zur Erreichung des Arbeitszieles wurden Grundlagen folgender Fachgebiete verwendet: Tierhaltung, Tiergesundheit, Stallklima, Bauphysik, architektonische Grundlagen für eine energiesparende und ressourcenschonende Planung in ariden und semiariden Gebieten.

Der Arbeitsablauf wird in dem folgenden Ablaufschema erläutert (s. Abb. 1.06).

TEIL I: Stand des Wissens und Ausgangssituation

- Allgemeiner Überblick der Rinderhaltung
- Analyse der syrischen Gegebenheiten
- Bauliche Grundsätze der Stallbauten und optimale Milchviehhaltung
- Methoden zur Hitzestressvermeidung und Stall- und Gebäudekühlung

**TEIL II: Versuchsdurchführung**

- Einstrahlung auf geneigte Fläche
- Erwärmung und Abkühlverhalten
- Amplitudenverschiebung

TEIL III: Lösungsvorschläge

- Geschlossener Stall
- Halb geschlossener Stall
- Offenstall

Abb. 1.05: Die drei Hauptteile der Arbeit

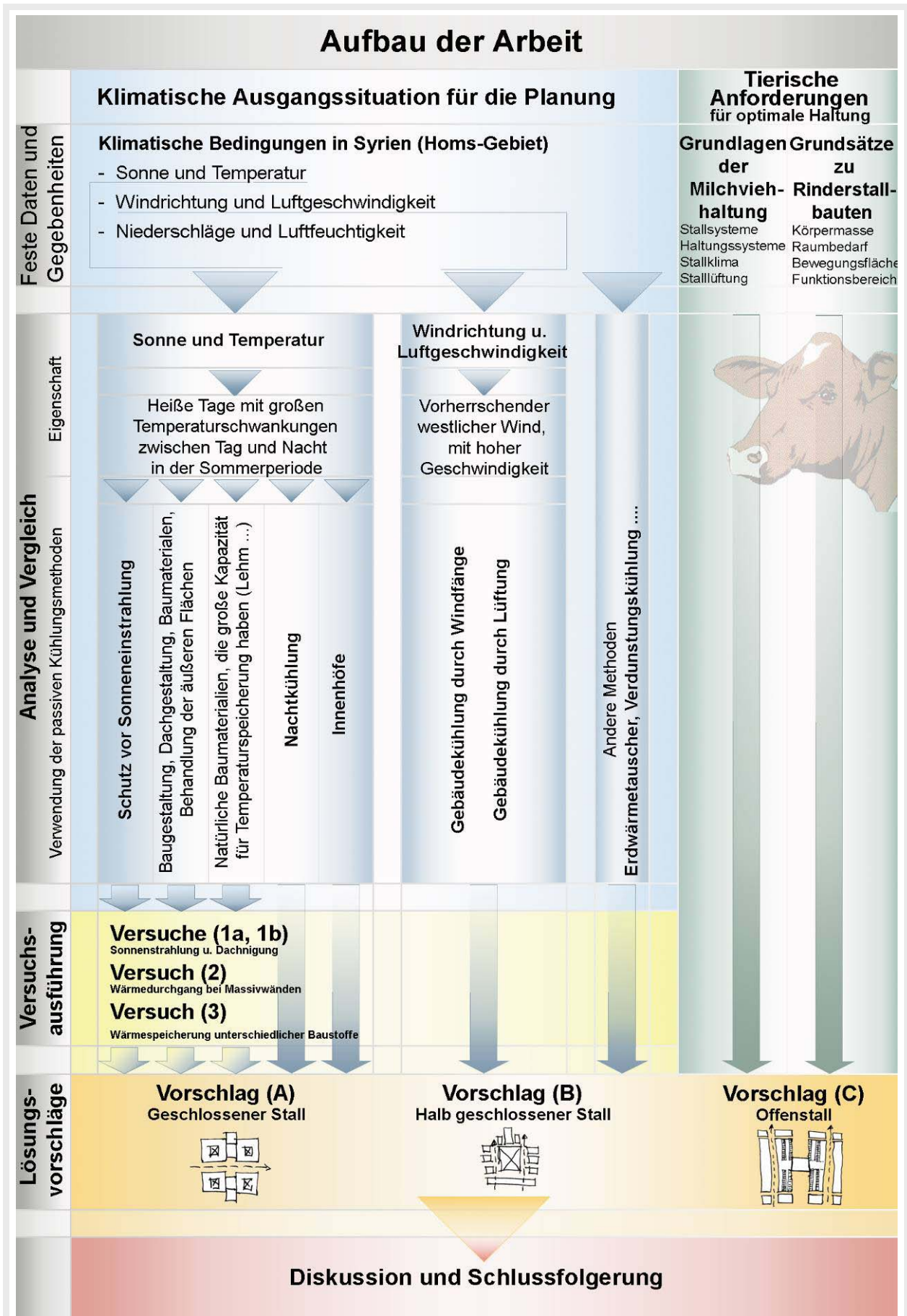


Abb. 1.06: Aufbau der Arbeit und Lösungsweise

KAPITEL

2

Allgemeiner Überblick der Rinderhaltung**2.1 Bedeutung der Rinder**

Die Rinder haben im Allgemeinen drei Bedeutungen: religiöse, soziale und wirtschaftliche. Die religiöse Bedeutung wie z. B. in Indien ist bekannt, da spielen die Rinder eine zentrale Rolle in der Glaubensgemeinschaft der Hindus. Die Kuh ist absolut heilig. Hindus verehren sie als Mutter des Lebens. Nach ihrem Glauben leben in jeder Kuh 330 Millionen Götter und Göttinnen (WALKER, 1968). Das Ansehen der Rinder ist nicht überall auf der Welt von gleich großer Bedeutung. In Europa z. B. sind seit der Industrialisierung große Rinderherden kein besonderes Statussymbol mehr. Dagegen haben in manchen afrikanischen Ländern Rinder einen hohen sozialen Stellenwert. In vielen afrikanischen Hirtenkulturen richten sich die Menschen nach den Bedürfnissen der Rinder und ihr Lebensziel ist es, die Herde zu vergrößern. Im Weltmaßstab haben Rinder die größte wirtschaftliche Bedeutung, wobei verschiedene Aspekte eine wichtige Rolle spielen.

2.2.1 Produzent für hochwertiges tierisches Eiweiß

Die Eiweißstoffe entsprechen der Haupternährung des Menschen, diese Stoffe beinhalten die essentiellen Aminosäuren, die der menschliche Körper nicht selbst synthetisieren kann, die er aber für den Aufbau körpereigener Eiweiße (Proteine) benötigt. Solche Aminosäuren müssen mit der Nahrung aufgenommen werden, sonst kommt es zu Eiweißmangel. Etwa zwei Drittel der Weltbevölkerung leiden darunter. Folgen sind:

- Behinderung der körperlichen Entwicklung, Wachstumsverzögerungen,
- Blutarmut, schlechte Wundheilung,
- Anfälligkeit für Infektionskrankheiten, längere Krankheitsdauer,
- geringere Konzentrationsfähigkeit, erhöhte Unfallhäufigkeit,
- geringere Leistungsfähigkeit, Muskelschwäche und
- mangelnde geistige Entwicklung.

Um dieser Unterversorgung entgegenzuwirken sind vor allem die Gras fressenden Tiere (Rinder, Schafe, Ziegen, Kamele) wichtig, um genügend Milch und Fleisch zu produzieren, da Grasfresser keine Nahrungskonkurrenten für Menschen sind. Grasfresser benötigen im Gegensatz zu Geflügel und Schweinen nicht so hochwertiges Futter, um dies in Körpermasse umzusetzen. Besonders das Rind spielt hier eine bedeutende Rolle. Die Tabelle 2.01 enthält einen Überblick über die Bedeutung der Grasfresser für die Versorgung der Weltbevölkerung mit tierischen Proteinen. Die Tabellen 2.02 und 2.03 zeigen auch die Hauptkonsumenten der

tierischen und pflanzlichen Ernährung in der Welt und auch zum Vergleich in Deutschland und Syrien. Sie zeigen dass der Energie-Konsum der tierischen Ernährung 15 % des gesamten Energiekonsums beträgt. In Deutschland werden Milch und Milchprodukte mehr konsumiert im Vergleich mit der Welt und Syrien, wo mehr Getreide konsumiert wird.

Tab. 2.01: Herkunft von tierischem Eiweiß für die Versorgung der Menschen in 2003 [g/Person/Tag] [%] (bearb. nach FAOSTAT, 2009)

Region	Eiweißverbrauch		„Grasfresser“ (Fleisch u. Milch von Rind, Schaf, Ziege und Kamel)	„Getreidefresser“ (Schweine- und Geflügelfleisch + Eier)	Fisch	Andere tier. Quellen
	Inges.	Tierherkunft (100 % ▶)				
Asien	70,4	22,6	7,0	9,6	4,8	1,2
	100 %	◀ 32,1 %	30,9 %	42,5 %	21,2 %	5,4 %
Afrika	61,1	12,8	7,3	2,5	2,3	0,7
	100 %	◀ 21,0 %	56,9 %	19,5 %	17,6 %	6 %
Amerika	89,5	48,2	25,3	18,3	3,1	1,5
	100 %	◀ 53,8 %	52,5 %	38 %	6,4 %	3,1 %
Europa	100,8	55,8	27,1	20,6	5,7	2,4
	100 %	◀ 55,3 %	48,6 %	37,0 %	10,2 %	4,2 %
Ozeanien	99,3	62,0	36,5	16	5,6	3,9
	100 %	◀ 62,44 %	58,8 %	25,8 %	9,1 %	6,3 %
Welt	75,7	29,1	12,2	11,3	4,3	1,3
	100 %	◀ 38,4 %	41,7 %	38,7 %	15,0 %	4,6 %
Deutschland	100,3	59,5	29,7	24,2	3,7	1,9
			Rindfleisch	4,1	Schweinefleisch	14,9
			Schaf u. Ziege	0,3	Geflügelfleisch	5,6
			Milch	22,3	Eier	3,7
	100 %	◀ 59,3 %	49,7 %	40,8 %	6,2 %	3,3 %
Syrien	80,4	22,1	15,0	5,1	0,6	1,4
			Rindfleisch	1,0	Schweinefleisch	0,0
			Schaf u. Ziege	4,5	Geflügelfleisch	2,6
			Milch	9,5	Eier	2,5
	100 %	◀ 27,5 %	67,7 %	23,3 %	2,8 %	6,2 %

Tab. 2.02: Ernährungskonsum in der Welt und zum Vergleich in Deutschland und Syrien in 2003 [g/Person/Tag] (bearb. nach FAOSTAT, 2009)

	Welt	Deutschland	Syrien		Welt	Deutschland	Syrien
Milch u. Produk.	219	698	246	Gemüse	320	246	334
Fleisch	106	230	60	Frucht	170	309	230
Eier	22	30	22	Ölprodukte	19	8	11
Tierisches Fett	8	57	8	Stärkehaltige	175	197	63
Getreide	413	306	460	Gemüseöle	30	44	38
Fisch u. Meeres- früchte	43	38	5	Zucker u. Süßig- keiten	68	123	117

Tab. 2.03: Verbrauch der 10 wichtigsten tierischen Ernährungsprodukte in der Welt und zum Vergleich in Deutschland und Syrien in 2003 [Kcal/Person/Tag] (bearbeitet nach FAOSTAT, 2009 und FAO Statistical Yearbook 2005/2006)

	Welt	Deutschland	Syrien		Welt	Deutschland	Syrien
1. Rindfleisch	39	33	19	6. Eier	33	46	33
2. Geflügelfleisch	47	52	25	7. Milch	84	122	137
3. Ziegenfleisch	10	5	85	8. Magermilchpul.	13	49	4
4. Schweinefleisch	119	253	0	9. Butter & Ghee	27	133	27
5. Tierisches Fett	63	324	70	10. Käse	24	128	36
Gesamt 7 - 10	148	432	194	Gesamt 1 - 10	459	1145	436
	(5%)	(12%)	(7%)		(16%)	(33%)	(14%)

Ges. Energieverbrauch: - Welt: 2800, - Deutschland: 3490, - Syrien: 3060 Kcal/Person/Tag (100%)

2.1.1.1 Fleisch

In der Entwicklungsgeschichte der Menschheit war das Fleisch stets ein wichtiges Nahrungsmittel. Fleisch enthält hochwertiges Eiweiß, besonders Myosin und Actin. Der Rindfleischkonsum der Länder hängt von der Verfügbarkeit des Fleisches ab, der Möglichkeit einer Eigenproduktion oder des Zukaufs. So liegt der Verbrauch von Eiweiß aus Rindfleisch in Deutschland bei ca. 4 g/Person und Jahr (entspricht ca.13 % des Eiweiß von Grassfressern), in Syrien liegt der Verbrauch bei 1 g/Person und Jahr (Tab. 2.04) (FAOSTAT, 2009).

Tab. 2.04: Relative Bedeutung verschiedener Fleischarten bezogen auf den Eiweißkonsum aus Fleisch nach Regionen und einigen Ländern der Welt [g/Person/tag] [%] (bearb. nach FAOSTAT, 2003)

Region	Ges. Eiweiß-Konsum	Tierisch. Eiweiß-Konsum	Eiweiß Fleisch: ►	Rindfleisch	Schafsfleisch	Schweinefleisch	Geflügelfleisch	Sonstig. Fleisch
Asien	70,4	22,6	9,3	1,6	0,7	4,4	2,4	0,2
			100 %	17 %	8 %	47 %	26 %	2 %
Afrika	61,1	12,8	5,6	2,1	0,9	0,3	1,6	0,7
			100 %	39 %	16 %	5 %	28 %	12 %
Amerika	89,5	48,2	26,1	10,3	0,3	4,5	10,7	0,3
			100 %	39 %	1 %	18 %	41 %	1 %
Europa	100,8	55,8	25,2	6,6	0,8	9,7	7,1	1,0
			100 %	26 %	3 %	39 %	28 %	4 %
Ozeanien	99,3	62,0	35,0	13,0	4,0	4,0	9,0	5,0
			100 %	37 %	12 %	12 %	26 %	13 %
Welt	75,7	29,1	13,38	3,63	0,71	4,51	4,13	0,40
			100 %	27 %	5 %	34 %	31 %	3 %
Deutschland	100,3	59,5	27,7	4,1	0,3	14,9	5,6	2,8
			100 %	15 %	1 %	54 %	20 %	10 %
Syrien	80,4	22,1	8,2	1,0	4,5	0,0	2,6	0,1
			100 %	13 %	54 %	0 %	32 %	1 %

Um die Versorgung in Entwicklungsländern an tierischem Protein zu steigern, ist nicht nur die Viehzucht zu verbessern, sondern auch der Vertrieb und die Verarbeitung des Fleisches. Besondere Probleme haben die Länder, in denen „Rinder-Freilandhaltung“ besteht. Die Weiden der Rinder sind weit von den Ballungszentren entfernt und somit in nicht erreichbarer Nähe der

Konsumenten. Es bestehen keine Schlachthäuser in der Nähe der Viehweiden. Auch ist es keine Lösung, die Tiere über viele hundert Kilometer zu den Schlachthäusern zu treiben. Sie verlieren dann einen großen Anteil ihrer Körpermasse, was auch nicht erwünscht ist. Weiterhin ist die Haltbarkeit des Fleisches ein großes Problem. Es erhält die optimale Qualität und den besten Geschmack, wenn es drei Wochen bei ca. 0 °C gelagert wird. Bei diesen niedrigen Temperaturen ist auch gesichert, dass das Fleisch nicht verdirbt. Da dies ohne Kühllhäuser in den Tropen und Subtropen nicht möglich ist, muss das Fleisch auf andere Art und Weise konserviert werden. Dies kann auf verschiedene Weise erreicht werden: Trocknen, gefrieren, salzen und pökeln, mit Essig marinieren, räuchern, als Konserven durch Hitze sterilisieren, auch durch Chemikalien oder radioaktive Bestrahlung.

2.1.1.2 Milch und Milchproduktion

Milch und Milchproduktion tragen neben dem Fleisch auch zur Deckung des Bedarfs an tierischen Eiweißen bei. Die Weltproduktion an Milch stammt zu 84 % von Rindern (Tab. 2.05). Besonders wertvoll macht die Milch der Gehalt an Eiweiß von hoher biologischer Wertigkeit. Auf Grund ihrer Zusammensetzung ist sie ein ausdauernder Energiespender. Sie enthält alle wichtigen Nährstoffe, die das Wachstum fördern: Proteine, Fette, Kohlenhydrate, Mineralien und Vitamine. Besonders wichtig ist das darin enthaltene Calcium. Es wird benötigt, um das Skelett und die Zähne aufzubauen und diese ständig zu erneuern. Allerdings gibt es Menschen, die nicht das nötige Enzym Laktose im Darm haben, um die Milch ohne Probleme abzubauen. Dieses Problem tritt häufig auf, wenn längere Zeit keine Milch getrunken wurde. Besonders sind davon Bewohner afrikanischer und asiatischer Länder betroffen, was wiederum eine Behinderung bei der Aufnahme von wichtigen Nährstoffen bedeutet. Die Tabelle 2.05 zeigt Milchproduktion und Konsum pro Person im Jahr 2003.

Tab. 2.05: Milchproduktion und Milchkonsum in der Welt im Jahr 2003 (FAO Statistics Division, 2009)

Region	Bevölkerungszahl [1000 P.]	Gesamte Milchproduktion		Milchproduktion [kg/Person/Jahr]	Milch und Milchprodukte Konsum	
		[1000 kg]	[%]		[kg/Person/Jahr]	
Asien	3 846 121	193 727 615	57 % *	50	46	30 **
Afrika	880 617	32 214 740	74 %	37	39	27
Nord u. Zentralamerika	466 152	97 799 531	100 %	261	211	98
Südamerika	363 837	47 211 696	99 %	130	110	89
Karibik	39 779	1 894 135	90 %	48	70	47
Europa	730 063	217 427 374	97 %	298	229	91
Ozeanien	32 493	24 490 109	100 %	754	179	72
Welt	6 359 062	614 765 201	84 %	97	83	46
Deutschland	82 568	28 563 320	99 %	346	280	68
Syrien	17 893	1 870 620	65 %	105	96	62

*) Anteil der Kuhmilchproduktion an der gesamten Milchproduktion

**) Nur Milchkonsum [kg/Person/Jahr]

Ein Milchprodukt ist die Butter. Da diese aber bei den hohen Temperaturen in den Tropen und Subtropen leicht ranzig und damit ungenießbar wird, ist hier Milchfett weit verbreitet. Dieses scheidet sich beim Erwärmen der Butter ab. Es stellt eine wichtige Fettquelle zum Kochen und Braten dar. Am bekanntesten ist die indische Schmelzbutter „Ghee“.

Weitere Milchprodukte sind Käse und Sauermilchprodukte. Sie entstehen, wenn sich die Milchsäurebakterien vermehren und die Milch gerinnt. Dieses angenehm säuerliche Produkt ist eine wichtige Nahrungsquelle bei den Viehzucht treibenden Völkern.

Die Herstellung von Joghurt wurde von Wüstennomaden des Vorderen Orients erfunden. Joghurt ist ein fester Bestandteil der Ernährung in Vorderen Orient, wird aber auch in anderen Entwicklungsländern immer beliebter. Hierzu werden der Milch Joghurtkulturen zugesetzt.

Die Herstellung von Käse hat in den Tropen und Subtropen keinen so hohen Stellenwert. Das liegt einmal daran, dass Kühlräume für den Käsereifeprozess fehlen, aber auch daran, dass Milch nicht die geeignete Qualität für Käse besitzt. Die Abbildung 2.01 zeigt einen schematischen Plan für die Milchverarbeitung.

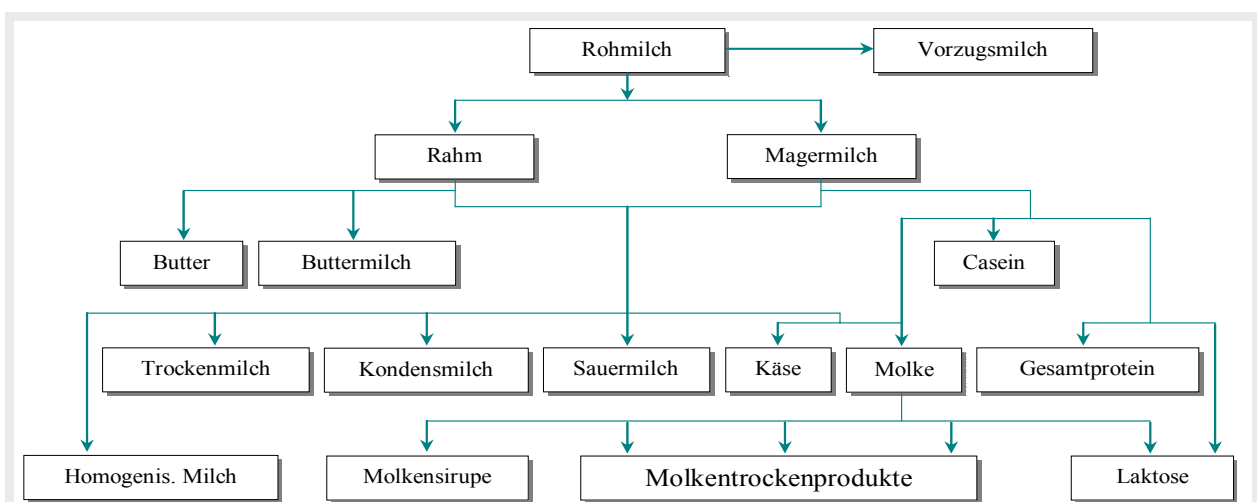


Abb. 2.01: Vereinfachtes Schema der Milchverarbeitung (BELITZ und GROSCH, 1992)

2.1.1.3 Blut

Manche afrikanische Hirtenvölker (z.B. die Massai) zapfen den lebenden Rindern mit einem besonderen Aderlasspfeil Blut ab und genießen dieses in frischem oder geronnenem Zustand. Sie entnehmen das Blut aus der Halsschlagader der Ochsen und trinken es, um ihre Kraft zu bewahren. Danach werden die Ochsen frei gelassen, damit sie sich erholen können.

2.1.2 Nutzung als Arbeitstiere

Die wichtigste Nutzung von Rindern war in Europa bis um 1800 die Nutzung als Arbeitstiere. Erst dann wurden die Ochsen allmählich vom Pferd verdrängt. Auch heutzutage sind Rinder eine wichtige Arbeitskraft auf den Feldern und Äckern in den Tropen und Subtropen. Sie wurden für Bestell-, Ernte- und Transportarbeiten benötigt. Die Arbeitstiere sind besser, wenn Land in schwer zugänglichen Gebieten (Terrassenfelder) bearbeitet wird. Ein weiterer Vorteil ist,

dass z.B. in Reisfeldern, die unter Wasser stehen, Arbeitstiere weniger Schäden anrichten als Traktoren. In den Reisanbaugebieten in Südostasien hat der Büffel die größte Bedeutung als Arbeitstier. In Indien, im Mittleren Osten, in vielen Ländern Afrikas und Lateinamerika dominiert dagegen das Rind.

Es gibt spezielle Rassen, die für den Einsatz als Arbeitstiere gezüchtet wurden. Hierzu zählen Zeburassen wie z.B. *Hallikar* und *Nagori*. Zur Arbeit werden meistens Ochsen herangezogen, da diese weniger aggressiv als Bullen sind und mehr Kraft als Kühe besitzen. Im Alter von 3 - 4 Jahren werden die Ochsen zur Arbeit abgerichtet und sie können dann normalerweise ca. 10 Jahre zur Arbeit genutzt werden. Die Arbeitskraft, welche die Rinder einbringen können, hängt besonders von der Körpergröße und der Bemuskelung ab. Auch das Klima spielt eine große Rolle. Bei Hitze steigt die Beanspruchung und somit geht die Leistung zurück. Die Arbeitsleistung kann man positiv beeinflussen, indem die Arbeitstiere mit hochwertigem Futter versorgt werden und die Arbeitsgeräte in optimalem Zustand sind. Man sollte auch darauf achten, dass die Tiere nicht überanstrengt werden, denn dies führt dazu, dass sie vorzeitig nicht mehr genutzt werden können.

Für Bodenbauern in den nordafrikanischen und südlichen Gebieten ist die Zugleistung der Rinder besonders wichtig. Neben der Bodenbearbeitung mit Rindern werden sie zum Fördern von Wasser ebenso eingesetzt wie zum Dreschen (Austreten) von Getreide und zum Ziehen von Wagen.

2.1.3 Lieferant von Dung

■ Nutzung als organischer Dünger

Der Rinderdung ist ein wertvoller Rohstoff. In Entwicklungsländern, wo Kunstdünger für die Bauern nahezu unerschwinglich ist, bietet er die einzige Möglichkeit, die Felder zu düngen. Auf schon bestellten Feldern wird der Dung von Menschen ohne maschinelle Hilfsmittel ausgebracht. Auf Feldern, die schon abgeerntet sind, werden die Rinder getrieben und so erfolgt eine direkte Düngung (SCHAREIKA, 1994).

■ Dung als Brennmaterial oder zur Erzeugung von Biogas

Der Dung kann eingesammelt, an der Sonne getrocknet und schließlich als Brennmaterial verwendet werden. In Gegenden, die nahezu abgeholzt sind, ist dies einer der wichtigsten Brennstoffe. Ein gravierender Nachteil der Verbrennung des Dungs ist, dass so der Dung als Nährstoffquelle für Pflanzen entfällt und somit der natürliche Kreislauf unterbrochen wird. Eine bessere Nutzung des Dungs ist die damit mögliche Produktion von Biogas. Bei diesem Verfahren kann Energie gewonnen werden und gleichzeitig der Nährstoffrücklauf gesichert werden. Hierzu müssen die Tiere entweder im Stall, aber mindestens über Nacht in Pferchen gehalten werden, um größere Mengen an Dung einsammeln zu können. Außerdem müssen Biogasanlagen gebaut werden. Diese Anlagen können besonders gut in warmen Klimazonen, auch in kleinen bäuerlichen Betrieben, rationell arbeiten. In kühleren Klimazonen muss oft ein Teil der gewonnenen Energie der Anlage wieder rückgeführt werden, um die bakteriellen Umsetzungsprozesse in Gang zu halten.

2.1.4 Rinder als Lieferant von Häuten

Eine weitere wirtschaftliche Bedeutung kommt dem Rind als Lieferant von Häuten zu. Die Rinderhaut wird zur Lederherstellung benutzt. Leder ist ein wertvoller Rohstoff, der viele positive Eigenschaften besitzt. Vor allem zur Schuhproduktion eignet es sich hervorragend, da es waserabweisend, reißfest und luftdurchlässig ist. Das beste Leder wird von Kälbern gewonnen, da sie eine gleichmäßige Haarstruktur besitzen. Die Haut von Zebus ist weniger gut geeignet. Im Höckerbereich ist die Haut fetthaltiger und strukturierter; dies erschwert die spätere Verarbeitung. Um ein bestmögliches Resultat bei der Lederherstellung zu erzielen, muss die Haut gekonnt konserviert werden. Dies geschieht, indem die von Fett und Fleisch gesäuberte Haut mit Salzen behandelt wird.

2.1.5 Weitere Nutzung der Rinder

Der Abfall von Schlachthöfen wird zur Herstellung einer Vielzahl von Produkten verwendet (Abb. 2.02), z. B. von lebensrettenden Medikamenten, Körperpflegemitteln, Seifen, Süßigkeiten, Bekleidung, Postermöbeln, Schuhen und Sportgeräten. Knochen und Hufe werden zu Knochenmehl gemahlen, das als Düngemittel und Tierfutter eingesetzt wird. Der Rest wird an Hersteller von Kollagen, Gelatine und Beißknochen für Hunde verkauft. Ein geringer Teil der Hörner wird zu Schmuck, Gebrauchsgegenständen und Musikinstrumenten verarbeitet. Die Hirnhangdrüsen sind Rohstoff für Medikamente, mit denen der Blutdruck des Menschen unter Kontrolle gebracht wird. Aus den Bauchspeicheldrüsen von 26 Kühen kann man einen Diabetiker, der das synthetische Insulin nicht verträgt, ein Jahr lang versorgen. Das Fett, das nicht der Ernährung dient, wird für Lippenstifte, Lidschatten, Shampoo, Schaumbad und Seifen, Kerzen und Leim verwendet. Kollagen ist der wichtigste Bestandteil für Feuchtigkeitscremes. Gelatine wird aus den Hufen gewonnen und wird in Hunderten von Produkten verwendet: in Gummibärchen, Speiseeis und Bonbons. Gelatine ist auch das Geheimnis vieler sogenannter fettarmer Produkte (DEPPE, 1997).

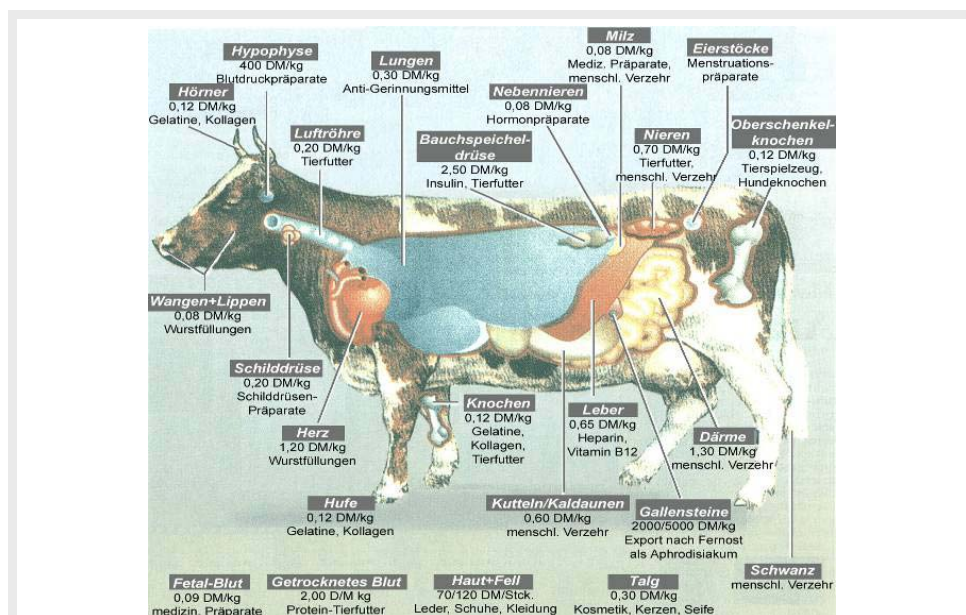


Abb. 2.02: Geschlachtetes Rind wird vollständig verwertet (DEPPE, 1997)

2.2 Rinderhaltung weltweit

2.2.1 Verteilung der Erdbevölkerung und der Rinderpopulation

Nach der FAOSTAT (2009) gab es im Jahr 2007 auf der Erde etwa 1,4 Mrd. Rinder, davon in Europa ungefähr 127 Millionen, in Deutschland 12,7 Millionen. Rund 1/3 der Rinder werden in der gemäßigten Zone gehalten und 2/3 in Savannen und subtropischen Gebieten. Die Tabelle 2.06 zeigt die Zahlen der Bevölkerung und Rinder im Jahr 2007 in der Welt. Man kann beobachten, dass sich in Asien knapp ein Drittel des Weltrinderbestandes befindet. Mit Abstand den größten Rinderbestand in diesem Erdteil hat Indien. Südamerika folgt Asien mit knapp 25 % des Weltrinderbestandes. In Südamerika verfügen Brasilien und Argentinien über die größten Rinderbestände, bei den Ländern Nord- und Zentralamerikas liegen die USA, in Europa Russland und Frankreich an der Spitze. Afrikas Rinderbestand erreicht 18 % des Weltbestandes, wobei Äthiopien das Land mit der größten Anzahl ist, gefolgt von Sudan. Eine starke Abnahme der Rinderbestände erfolgte in Europa.

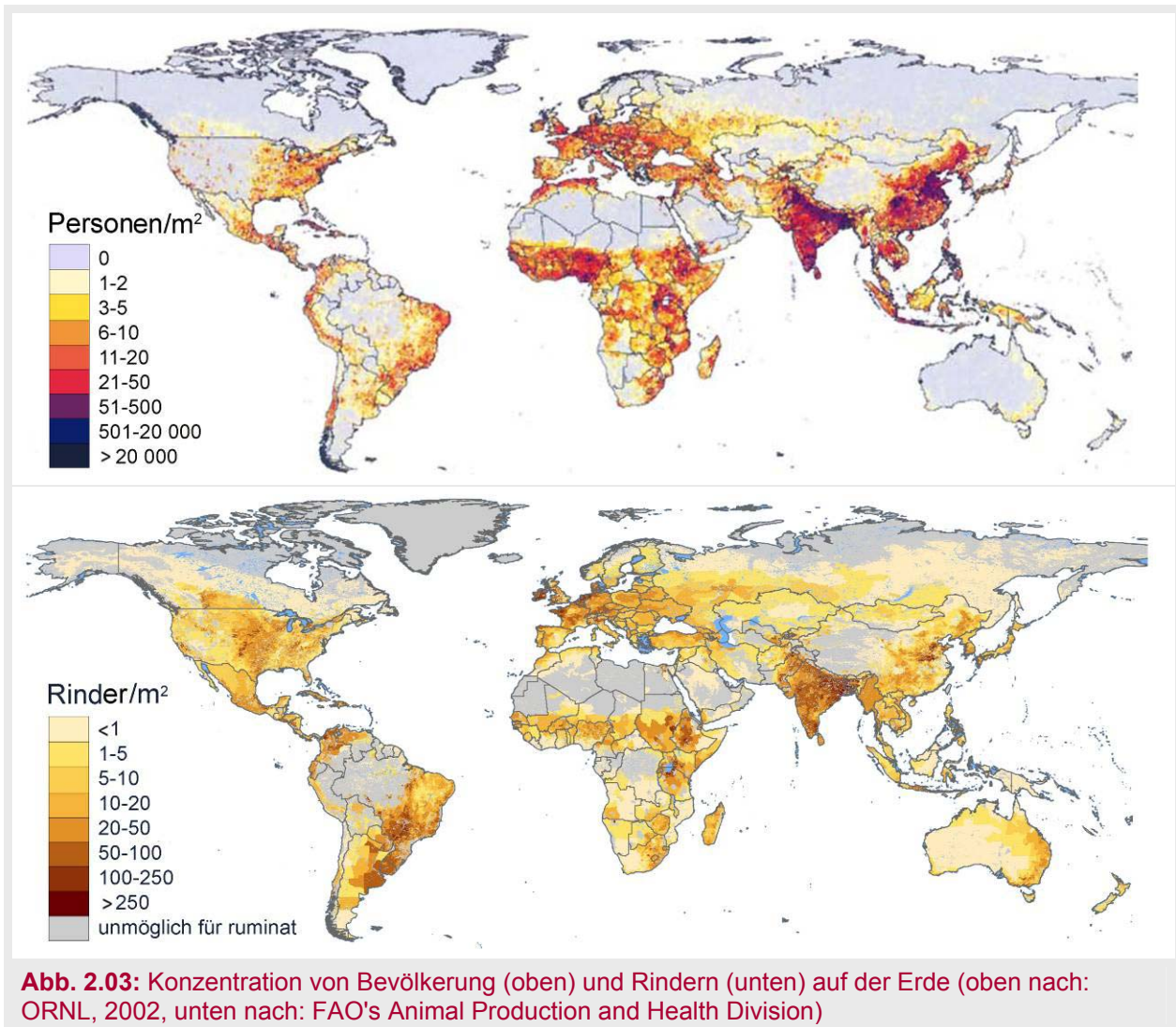
Tab. 2.06: Verteilung der Bevölkerung und der Rinder nach Erdteilen und ausgewählten Ländern im Jahr 2007 (berechnet nach FAOSTAT, 2009; ^{*)} Population Reference Bureau)

Region	Bevölkerungszahl ^{*)}		Rinderzahl		Erste zwei Länder pro Erdteil [1000 Rinder]
	[1000 P.]	[%]	[1000 R.]	[%]	
Asien	4 010 000	60,5	465 805	33,5	▶ Indien (177 840), China (116 861)
Afrika	944 000	14,2	250 978	18,0	▶ Äthiopien (43 000), Sudan (39 500)
Amerika	904 000	13,7	506 689	36,5	▶ Brasilien (207 170), Argentinien (50 750)
Europa	733 000	11,1	127 306	9,2	▶ Russland (21 466), Frankreich (19 359)
Ozeanien	35 000	0,5	38 810	2,8	▶ Australien (28 400), Neuseeland (9 650)
Welt	6 632 000	100	1 389 590	100	▶ Brasilien (207 170), Indien (177 840)

Mit dem Vergleich der weltweiten Verteilung von Erdbevölkerung und Rindern kann man beobachten, dass die Rinder gleichmäßiger als die Bevölkerung verteilt sind. Die Konzentration auf einzelne Gebiete ist nicht so stark wie bei der Bevölkerung. Die Gebiete, in denen sich hohe Bevölkerungsdichten gebildet haben, sind nicht grundsätzlich auch Gebiete, in denen sich die Rinderhaltung konzentriert. Nur in Indien und Nordwesteuropa finden sich, wenn auch aus unterschiedlichen Ursachen, Konzentrationen sowohl der Bevölkerung als auch von Rindern. China als klassische Schweinefleischkultur verfügt nur über geringe Rinderbestände. Die Gebiete mit reichlich vorhandenem Weideland und vergleichsweise geringer Besiedlungsdichte (Lateinamerika) weisen eine im Verhältnis zur Bevölkerung hohe Konzentration von Rinderbeständen auf (GREGERSEN, 1977). In der Abbildung 2.03 werden die Verteilung der Bevölkerung und der Rinder auf der Erde dargestellt.

Die wichtigsten Ursachen unterschiedlicher Verteilung von Menschen und Rindern in der Welt sind:

- Der Mensch hat hauptsächlich in den Gebieten gesiedelt, die zum Ackerbau geeignet sind. Die Viehhaltung wird zur Versorgung mit Lebensmitteln betrieben.
- Die Futterversorgung ist die Kernfrage für die tierische Produktion. Sie hängt von der für Futterzwecke verfügbaren Bodenfläche ab, sowie davon, welche Erträge auf dieser Fläche erzielt werden können.



Die Standortverteilung der Rinderproduktion in den Tropen und Subtropen ist durch mehrere Faktoren bestimmt, die in ihrer Wirkung regional unterschiedlich sind. Vorzugsstandorte der Rinderproduktion sind: **a)** Standorte nahe den Ballungsgebieten der Bevölkerung, wobei vornehmlich Milchproduktion dominiert und eine relativ intensive Nutzung landwirtschaftlicher und industrieller Abfallprodukte als Futter erfolgt (LEGEL, 1989); **b)** Ackerbaugelände, in denen Rinder als Zugtiere eingesetzt werden und Neben- oder Hauptfutterproduktion erfolgt, die überwiegend für die Milchproduktion genutzt wird; **c)** Bevölkerungsarme Gebiete, in denen bei nomadischer Subsistenzwirtschaft Milcherzeugung vorherrscht und bei extensiver Marktproduktion Rindfleisch Hauptprodukt ist; **d)** Die Grünlandgebiete der semiariden bis semihumiden Gebiete, so weit sie von Tsetsefliegen frei sind (JAHNKE, 1982).

2.2.2 Wichtige Faktoren für die Rinderverbreitung

2.2.2.1 Natürliche Faktoren

Die Rinderproduktion basiert weltweit auf der Weidewirtschaft. Weidegebiete sind somit wichtige Standorte (Abb. 2.04). In Ländern mit entwickelter Volkswirtschaft sind die Grünlandgebiete Schwerpunkte der Rinderhaltung, dabei meist auch Zuchtzentren.

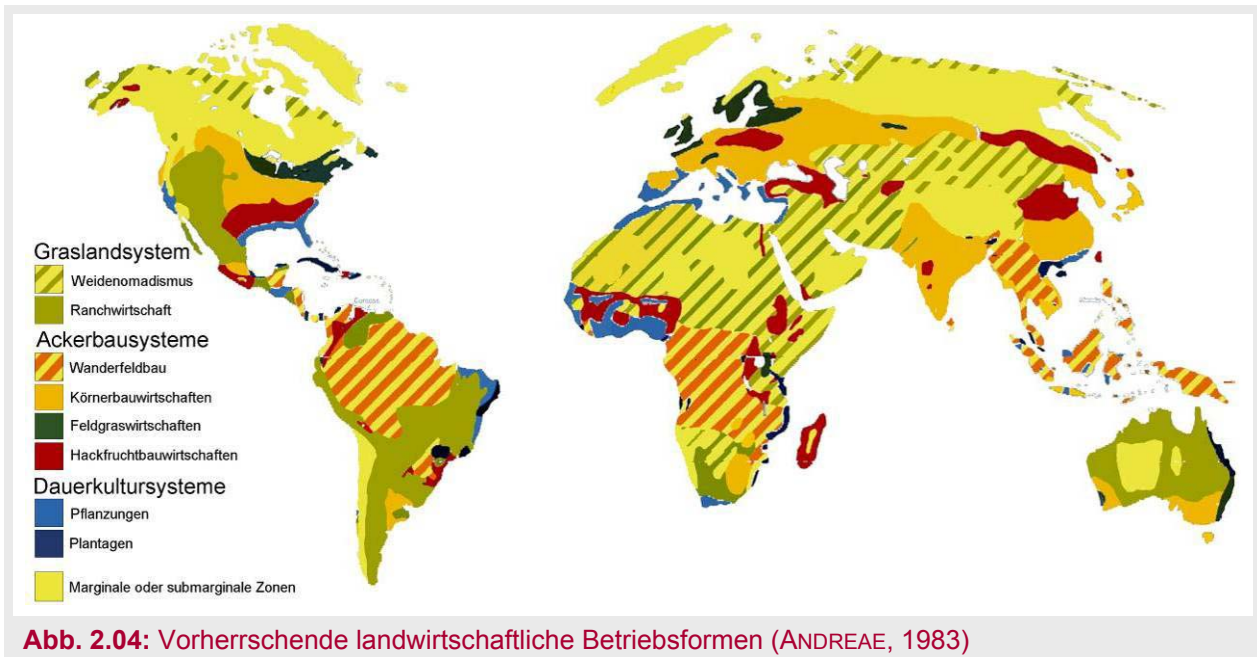


Abb. 2.04: Vorherrschende landwirtschaftliche Betriebsformen (ANDREAE, 1983)

JAHNKE (1982) weist für den afrikanischen Rinderbestand nach, dass die größte Konzentration im Hochland zu finden ist; danach folgen die semiariden Gebiete, dann die ariden subhumiden und schließlich die humiden Regionen. Das Rind stellt höhere Ansprüche an die Naturweide sowohl hinsichtlich Futterqualität als auch Futtermenge je Flächeneinheit gegenüber anderen Wiederkäuern. Dazu kommt die geringere Marschleistung der Rinder auf der Weide. Entscheidend ist dabei die erreichbare maximale Entfernung von der täglichen Wassertränke. ANDREAE (1983) gibt den Aktionsradius der Rinder mit 4 - 8 km an. Schafe und Ziegen erreichen bei geringeren Futteransprüchen 8 - 10 km, Kamele dagegen bis 80 km. Ähnlich wie im Tropischen Afrika wirken auch in anderen tropischen Gebieten die natürlichen Faktoren auf die Standortverteilung der Rinder.

Im nördlichen Afrika und dem Nahen Osten sind durchweg aride und semiaride Gebiete vorherrschend. Die Erträge der Naturweide reichen in der Regel nicht zur Ernährung von Rindern. Bei 250 - 300 mm Jahresniederschlag ist zwar noch Rinderhaltung möglich, aber ökonomisch sinnvoll ist es nur bei Magerviehaufzucht. Bei steigenden Niederschlägen (300 - 500 mm) ist die Rinderhaltung mit eigener Reproduktion und extensiver Fleisch- oder Milchproduktion möglich und erst bei mehr als 500 mm Jahresniederschlag beginnt eine intensive Rinderproduktion, soweit ökonomische Produktionsbedingungen dies ermöglichen (BLANCKENBURG, 1982). In den Bewässerungszentren dieses Raums ist es noch nicht gelungen, alle Ressourcen für eine intensive Rinderproduktion zu nutzen.

Im Fernen Osten sind die natürlichen Bedingungen für die Rinderproduktion nicht ungünstig. Die höhere Besiedlungsdichte schränkte aber die Weideflächen zugunsten des Ackerbaus stark ein. Das Rind wurde vor allem als Zugtier benötigt.

In Lateinamerika entwickelte sich mit der Einwanderung der Europäer die Rinderwirtschaft zunächst in den umfangreichen Grünlandregionen von den mexikanischen Hochlandflächen über die venezolanischen Llanos bis zu den argentinischen Pampas (BÖHME, 1979).

2.2.2.2 Ökonomische und soziale Faktoren

Bei den ökonomischen Faktoren wirken zunächst die Absatzmöglichkeiten und -bedingungen. In Europa hat die wachsende Nachfrage nach Milch und Rindfleisch einen außerordentlich großen Einfluss auf die Rinderproduktion gehabt. Die steigende Produktion von Rindfleisch und Milch erforderte eine Intensivierung der Futterwirtschaft und verstärkten Einsatz von Konzentratfuttermitteln. In Entwicklungsländern ist das Verbrauchsniveau für Fleisch und Milch noch sehr niedrig. In den Ländern, die mit der Entwicklung der Volkswirtschaft eine Verbesserung des Lebensstandards der Bevölkerung erreichen, wächst die Nachfrage nach Milch und Fleisch beträchtlich.

Ökonomische Faktoren der Standortverteilung und Produktion der Rinderwirtschaft sind auch mit sozialen Einflussfaktoren verbunden. Die Produzenten von Milch und Rindfleisch in Entwicklungsländern sind in der Mehrzahl Klein- und Mittelbauern oder Hirten. Ihre soziale Stellung und die daraus resultierenden ökonomischen Potenzen sind so unzureichend, dass sie die vorhandenen Ressourcen der landwirtschaftlichen Produktion nicht ausreichend nutzen können. Das wird noch deutlicher, wenn die regionale Produktion und das erreichte Produktionsniveau analysiert werden.

Der Verbrauch von Milch und Rindfleisch durch die Bevölkerung eines Landes wird vom durchschnittlichen Pro-Kopf-Einkommen, dem Einzelhandelspreis, der Preisrelation zu möglichen Austauscherzeugnissen, den Verbrauchsgewohnheiten, dem Umfang des Angebotes aus eigener Produktion und aus Importen und vom Entwicklungsstand des Groß- und Einzelhandelsnetzes beeinflusst (REEVES und HAYMAN, 1975; JUL, 1978; SCHINDLER, 1983) (Abb. 2.05).

Die angeführten Anteile der verschiedenen Fleischarten am Eiweißkonsum reflektieren bestimmte Verzehrsgewohnheiten, die sich unter den natürlichen, ökonomischen, sozialen und kulturellen Einflüssen herausbildeten. Dabei sind Verzehrsgewohnheiten umso veränderlicher, je stärker die anderen genannten Bestimmungsgründe wirken. Die geringe Bedeutung des Schaffleisches in Nordamerika und Europa ist auf Geschmackspräferenzen zurückzuführen, die von Schweinefleisch im Nahen Osten auf religiöse Gründe und die von Rindfleisch im Fernen Osten auf religiös bedingte Ablehnung (Indien) einerseits und bessere Anpassung der Schweine an die Bedingung der Landwirtschaft in Südostasien andererseits (s. Tab. 2.04).

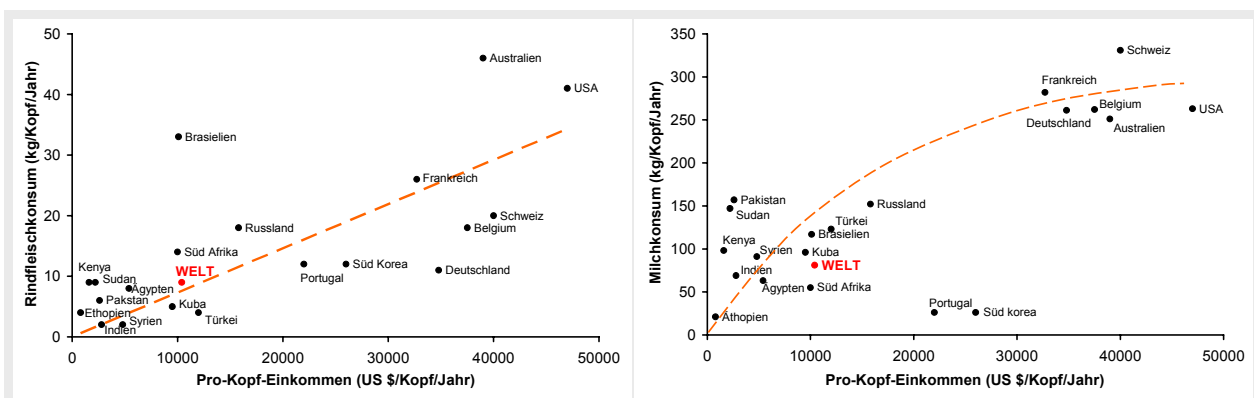


Abb. 2.05: l.: Verbrauch von Rindfleisch und Einkommen je Einwohner, r.: Verbrauch von Milch und Milcherzeugnissen und Einkommen je Einwohner (aktualisiert nach SCHWARK et al., 1972)

2.2.3 Technologische Verfahren der Rinderproduktion

Verfahren der Tierproduktion gliedern sich nach dem erzeugten Produkt, also z.B. in Verfahren zur Erzeugung von Schlachtrindern oder von Kuhmilch. Nun ist aber bekannt, dass oft verschiedene weitere Produkte mit den gleichen Tieren erzeugt werden. So kann man von einer Kuh die Zugleistung nutzen, gleichzeitig Kälber und etwas Milch gewinnen und schließlich das Tier der Schlachtung zuführen, um Fleisch und Fell zu erhalten.

Die Verfahren zur Erzeugung eines Hauptproduktes werden weiter untergliedert in Produktionsabschnitte (Tab. 2.07). Solche technologisch geprägten Abschnitte müssen gebildet werden, weil die Tiere im Verlauf ihrer Nutzung unterschiedliche Anforderungen an die Verfahren zur Fütterung, der Aufstallung, aber auch an die Umgebungstemperatur u.a.m. stellen (LEGEL, 1989).

Tab. 2.07: Gliederung der intensivierten Tierproduktion in den Tropen nach Produktionsabschnitten (LEGEL, 1989)

Kälberaufzucht	Jungrinderaufzucht	Rindermast	Milchproduktion
Kolostralkälber	Weibliche Jungrinder	Mastrinder (Vormast)	Trockenstehende Kühe
Milchkälber	Deckfähige Jungrinder	Schlachtrinder	Laktierende Kühe
Absatzkälber	Gedeckte Jungrinder		Schlachtkühe

Die Verfahren der Rindernutzung in den Tropen und Subtropen sind in Abhängigkeit von Klima, Boden und Pflanzenwuchs, aber auch von den gesellschaftlichen Verhältnissen der Menschen, der Geschichte, den Traditionen und den sozialen Wertvorstellungen der Völker sehr unterschiedlich.

2.2.3.1 Verfahren der Rinderhaltung zur Zugtiernutzung

Für Bodenbauern in Afrika und Asien ist die Zugleistung der Rinder besonders wichtig. Neben der Bodenbearbeitung mit Rindern, werden sie zum Fördern von Wasser ebenso eingesetzt wie zum Dreschen (Austreten) von Getreide und zum Ziehen von Wagen (Abb. 2.06).



Abb. 2.06: links: Die Rinder werden zum Dreschen von Getreide genutzt. rechts: Wasserbüffel hilft beim Setzen von Reisschösslingen - Philippinen (FAO)

Neben einfachsten Formen der Tierhaltung, bei denen die Zugtiere, meist Zeburinder, nur während der Hauptarbeitsprozesse in der Nähe der Hütten gehalten und unter einem Baum angebunden sind, während sie in der arbeitsarmen Zeit sich selbst überlassen werden, findet man auch günstigere Formen der Viehhaltung.

Zu den von der „FAO“ empfohlenen Formen gehören ein Unterstand mit Auslauf, Schatten, Wasser- und Futterversorgung auch in der Trockenperiode. Der Stall kann ausschließlich aus Holz, Lehm und Stroh vom Bauern selbst hergestellt werden. Die Tiere haben einen trockenen, windgeschützten, Sonne und Regen abhaltenden Liegeplatz, der eingestreut und als Tiefstall betrieben werden kann. Ein solcher Stall wird immer dann frisch eingestreut, wenn das bereits darin befindliche Stroh verschmutzt ist. Erst wenn ein Stapel Mist im Stall liegt, wird entmistet. Für ein erwachsenes Rind ist mit 5 - 6 m² Flächenbedarf innerhalb des Stalles (überdachte Fläche) zu rechnen. Im Auslauf sind Futtertröge und Tränktröge zu finden. Für die Trockenzeit ist es erforderlich, Futtervorräte anzulegen. Als Futtervorrat kann Silage und/oder Heu hergestellt werden. Zur Silagebereitung wird ein Loch von 1,5 bis 2 m Tiefe und 1,5 bis 2 m Breite angelegt. Die Länge richtet sich nach der Größe des Viehbestandes und der Länge der Trockenzeit. Das gemähte Futter wird in das Silo gebracht, gut festgetreten und mit Boden abgedeckt. Innerhalb von 2 Tagen ist das Silo zu schließen. Heu wird gegen Ende der Regenzeit bereitet, wenn die Niederschläge nachlassen. Das Gras wird mit der Machete oder der Sense gehauen und mit der Gabel gewendet. Nach der Trocknung wird es als Stapel am Stall aufgesetzt. In der Regenperiode ist es zweckmäßig, die Rinder zu hüten. Ein Hirte sollte darüber wachen, dass die Tiere nicht die Ackerkulturen abfressen und Tag für Tag nur eine begrenzte Fläche nutzen. Der Rest der Futterfläche ist zur Herstellung von Silage und Heu als Reserve für die Trockenzeit zu nutzen.

■ Haltung der Zugrinder in Afrika (Stallsystem)

Unterbringung - Stall

Zugrinder erfordern einen ständigen Kontakt mit dem Bauern und seiner Familie, sowohl im Hinblick auf die tägliche Fütterung und Wasserversorgung als auch der notwendigen Veterinärkontrolle. Da die Arbeit zumeist schon am sehr frühen Morgen beginnt, müssen die Zugrinder schnell zu erreichen sein. Die traditionelle Haltung in „KRAAL“ (s. Abschnitt 2.2.3.2) in Dorfnähe und innerhalb der Dorfherde ist daher für Zugrinder nicht die geeignete Haltungsform. Die Unterbringung sollte individuell im Wohnkomplex des Bauern erfolgen, so dass die Tiere unter ständiger Kontrolle sind.

Zugtiere stellen keine hohen Ansprüche an die Unterkunft, jedoch müssen 5 Mindestvoraussetzungen erfüllt werden: **1)** Sonnen- und Regenschutz, **2)** Futtertrog, **3)** fester, ebener und trockener Boden, **4)** Anbindevorrichtung und **5)** in Gebieten mit heftigen Winden und böigem Regen: seitlicher Wind- und Regenschutz (Abb. 2.07) (MUNZINGER, 1981).

Verwendbare Baumaterialien für Unterbringung:

- Dach: Stroh, Palmenblätter, Schilf, Wellblech.
- Gerüst: Holz (Termitenschutz), Borassuspalmstämme, Eisenstangen.
- Wand: Lehm, Palmenblätter, Ast- und Buschwerk.
- Abgrenzung bei Laufställen: Holz, Eisenstangen, Runddraht, Maschendraht.

- Boden: Festgestampfter Erdboden, Lehm, Steine, Beton.

Masse:

- Überdachte Fläche: 3,5 m² pro Tier im Anbindestall, 5 m² pro Tier im Laufstall für Zebu, 4 m² für kleine taurine Rassen.
- Futtertrog: Breite: 40 cm; Länge: 60 - 70 cm; Bodenhöhe etwa 40 cm. Soll ein Trog für mehrere Rinder zur Verfügung gestellt werden, so ist bei einigen Rassen auf die Hörnerweite zu achten, damit sich die Tiere beim Fressen nicht behindern.
- Boden: Gefälle von 2 % damit Urin und eventuelles Regenwasser ablaufen können.
- Stallhöhe: Etwa 2 m. Bei Strohdächern muss auf ausreichende Entfernung von den Rindern geachtet werden, damit diese das Stroh nicht herunterziehen können.



Abb. 2.07: Schattendächer aus lokalem Material erfüllen meistens die genannten Anforderungen zur Unterbringung von Zugtieren und sind billig zu erstellen (MUNZINGER, 1981)

2.2.3.2 Verfahren der Schlachtrinderproduktion

Die Schlachtrinderproduktion ist durch große Verfahrensvielfalt gekennzeichnet. Die Verfahren reichen von äußerst extensiven Formen der Viehhaltung unter Beachtung der dafür geeigneten Tierrassen bis hin zu hochintensiven, industrieartigen Lösungen. Die Gliederung der Verfahren erfolgte in Intensivierungsstufen, da dies eine annehmbare Ordnung der komplizierten Sachverhältnisse ist.

A. Nomadische Haltung

Von den 13,5 Milliarden ha Landfläche der Erde werden 3,4 Milliarden ha als Dauergrasland genutzt, während nur 1,4 Milliarden ha dem Ackerbau dienen (FAOSTAT, 2009). Das Dauergrasland, zu großen Teilen im tropischen und subtropischen Bereich zu finden, ist oft über lange Zeiträume des Jahres nur von einer spärlichen natürlichen Vegetation bedeckt. Deshalb erlaubt ein Teil dieser Gebiete gegenwärtig bei extensiver Nutzung nur die Anwendung eines Verfahrens, das als „nomadische Tierhaltung“ bezeichnet wird. Dieses Verfahren einer nicht standortgebundenen Produktion ist dadurch gekennzeichnet, dass bei seiner „vollnomadischen Form“ die Rinder auf der Suche nach Futter große Wegstrecken bewältigen und dabei im Verlauf eines Jahres 1000 - 2000 km zurücklegen. Bei diesem Verfahren entfallen sämtliche Anlagen und Einrichtungen, weil jedes Gerät auf einem Reit- oder Tragtier transportiert werden müsste und dieser Aufwand nicht betrieben werden kann.

Täglich notwendige Möglichkeiten, die Tiere zu tränken, schließen solche Gebiete von der Nutzung aus, in denen keine wasserführenden Flüsse oder Brunnen anzutreffen sind. Häufiges Beweiden von Territorien im Umkreis von Wasserstellen führt zu der als „overstocking“ bekannten Erscheinung (die Suche nach dem Wasser mehr als 5 km), bei der die Vegetation bis zur Wurzel abgegrast, nach und nach vernichtet und das Land zur Wüste wird.

Die „halbnomadisierende Rinderhaltung“ ist häufiger anzutreffen als die vollnomadische Form. Die Viehzüchter, die teilweise auch etwa Feldbau betreiben, durchwandern tagsüber mit ihren Herden die Steppengebiete und kehren abends in den „Kraal“ zurück.

Der „Kraal“ besteht aus senkrecht eingegrabenen Stämmen, die entweder dicht bei dicht eine angemessene Fläche umgeben, oder sie sind zaunartig angeordnet (Abb. 2.08). Die Zwischenräume sind mit Astwerk oder Draht versperrt. Der Kraal bietet den Rindern Schutz vor Raubtieren. Beispielsweise ist in Tansania der Kraal ringförmig von zwei Zäunen umgeben. Zwischen den beiden Zäunen stehen manchmal die Hütten der Menschen. So können die Tiere besser vor Dieben geschützt und die Menschen vor dem Angriff von Raubtieren bewahrt werden. Die Dörfer haben teilweise einen gemeinsamen Kraal, in dem weitere Zäune im Innenring eine Unterteilung zulassen. Halbnomadisch gehaltene Tiere erhalten das Wasser am Kraal, der in der Nähe eines Wasserloches oder Brunnens angelegt ist. Der Aufenthalt im Kraal ist für die Tiere belastend, weil die Kotansammlung Schwärme blutsaugender Insekten anlockt. Vielfach ist es in Afrika nicht üblich, die Kraalanlagen gelegentlich zu entmisten.



Abb. 2.08: „Der KRAAL“ ein Verfahren der halbnomadischen Rinderhaltung. Beispiele aus Brasilien (links) und Afrika (rechts) (MUNZINGER, 1981)

B. Ranchhaltung

Im Gegensatz zu der nomadisch betriebenen Rinderhaltung ist die standortgebundene Rinderproduktion „Ranchhaltung“ in den Gebieten anzutreffen, wo staatliche oder private große Farmbetriebe gegeben und intensivierte Produktionsverfahren erforderlich sind.

Ranchhaltung unterscheidet sich dadurch von der nomadischen Viehhaltung, dass sie auf einem feststehenden Territorium betrieben wird, das durch Anlagen zur Wasserversorgung der Tiere und Einzäunung erschlossen sein kann. Es gibt die unterschiedlichsten Formen derartiger Tierproduktion. Sie unterscheiden sich vor allem dadurch, wie der zur Verfügung stehende Boden zur Futtererzeugung genutzt wird. Darauf bauen alle anderen Verfahrensteile auf. Sie hängen immer davon ab, wie intensiv das Verfahren der Futternutzung ist.

ANDREAE (1972) hat vorgeschlagen, dass die unterschiedlichen Verfahren nach ihrer Intensität in einer Folge geordnet worden sind (Abb. 2.09).

In der Stufe 1 ist ein einfachstes Verfahren der Schlachtrinderproduktion dargestellt mit künstlich angelegten Wasserstellen mit der Möglichkeit zum Tränken der Tiere. In Stufe 2 findet das stärker intensivierte Verfahren statt, das gleichzeitig den Übergang zur planmäßigen Flächennutzung darstellt. Es zeigt eine Einzäunung und Unterteilung der Gesamtfläche in Kamps. Für die Stufe 3 erforderliche weitere Unterteilung, z.B. einer 5000-ha-Farm in nur 10 Kamps zu je 500 ha, müssen etwa 60 km Zäune errichtet werden. Hinzu kommen die Investitionen für die Errichtung der Tränken. In der Stufe 3 ergibt sich auch – neben allen anderen Intensivierungsmaßnahmen, wie Tränken errichten, Einzäunen und Weidepflege, - der Einsatz von Tierarzneimitteln, Ergänzungsfutterstoffen und Konzentraten.

Weiter intensivierte Produktion (Stufe 4) führte zum Einsatz von Arzneimitteln und Wirkstoffen und wird ergänzt durch: **a)** eine weitere Teilung der Kamps in kleinere Einheiten, **b)** das Einrichten zusätzlicher Tränkstellen für die Tiere, **c)** den Zukauf von Nährstoffen, **d)** die Anlage von Haupttreibwegen zu den Tauchbädern und Behandlungsplätzen und **e)** die Heu- oder Silagebereitung von einem Teil der Sparkamps. In der Stufe 5 erhält die Farm zusätzlich zu dem als Sparkamp genutzten Drittel ihrer Gesamtfläche auf mehreren Hundert Hektar einen Feldfutterbau auf Bewässerungsbasis. Voraussetzung ist das Vorhandensein eines ausreichend ergiebigen Brunnens oder Flusses, der in der Trockenzeit das benötigte Wasser für die Feldfutterfläche zu liefern vermag.

Die Feldfutterbereitung hat die gleiche, aber wirkungsvollere Funktion wie die Naturheubereitung. Da überall in den tropischen Gebieten von Zecken übertragene Krankheiten eine weite Verbreitung aufweisen, ist es spätestens mit der Einführung von Hochleistungsrassen erforderlich, eine regelmäßige Zeckenbekämpfung vorzusehen.

Dazu dienen Tierduschen oder Tauchbäder (Abb. 2.10). Je nach Befall und Jahreszeit treibt man die Herden im Abstand von mehreren Tagen bis zu mehreren Wochen durch dieses Bad. Das Tauchbad ist die günstigste Lösung hinsichtlich der Benetzung der Tiere. Es muss sich in der unmittelbaren Nähe eines Tränkplatzes befinden.

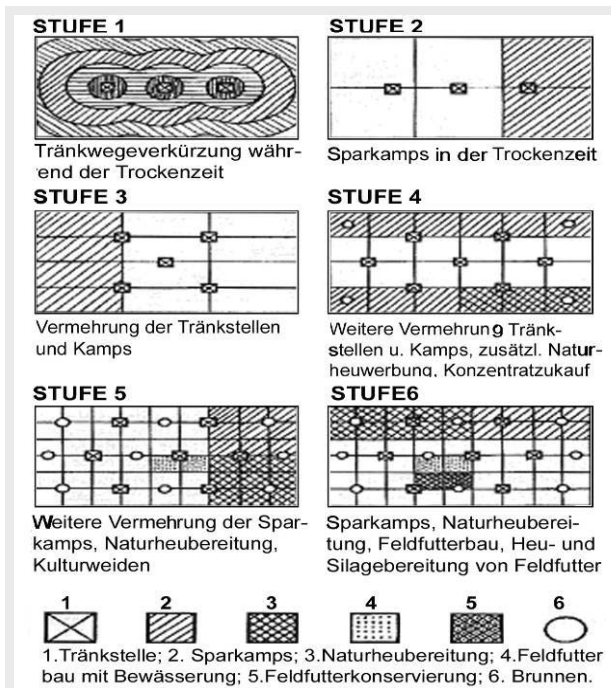


Abb. 2.09: Verfahren der Futterversorgung in Ranchbetrieben bei wechselnder Intensität der Produktion (ANDREAE, 1972)

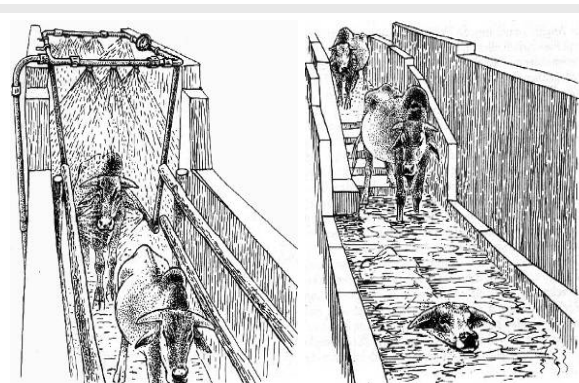


Abb. 2.10: Darstellung von Rinderduschen und Tauchbad und ein Foto eines Tauchbads (LEGEL, 1989)

C. Feedlots

Diese Art des Mastbetriebs wurde hauptsächlich in den USA betrieben und an verschiedenen tropischen und subtropischen Standorten neben der Ranchwirtschaft eingeführt (Abb. 2.11). Da diese Mastanlagen auf umfangreichen Konzentratzukauf angewiesen sind und um die Tiere nicht allzu weit zu transportieren, wenn sie schlachtreif sind, liegen die Betriebe meist in Stadtnähe auf infrastrukturell gut erschlossenen Standorten.

Die Gestaltung der Mastanlagen hängt davon ab, was für Tierrassen gemästet werden sollen. Die Mastrinder, die in gemäßigten Klimazonen entstanden sind, reinrassig oder als Kreuzungsprodukte, erhalten immer ein Schattendach. Die Tiere befinden sich in Gruppen von 50 - 100 Stück in massiv abgegrenzten Gehegen. Dort hat jedes Tier etwa 4 m² Schattenfläche, 10 - 15 m² Auslauffläche, einen Fressplatz (30 - 70 cm breit) an einem durchgehenden Zaun oder Trog, Wassertröge und gegebenenfalls noch eine Melassezufütterung.

Im „Feedlots“ bekommen die Tiere Grundfutter vom Anhänger oder Futterverteilwagen an den Zaun oder in einem Trog. Konzentrate und gegebenenfalls Melasse oder andere Abfallprodukte der Lebensmittel- und Getränkeindustrie werden ebenfalls ad libitum, aber immer in Trögen verabreicht.

In der Trockenperiode erhalten die Tiere Grundfutter, wie Zuckerrohr, Silagen und / oder Abfallprodukte der Verarbeitung von Pflanzen, z.B. Zuckerrohrschöpfung und Blättermelasse usw. (HANKE, 1983).

In befestigten und unbefestigten Gehegeflächen wird der anfallende Kot von Zeit zu Zeit aus dem Gehege geräumt. Häufig bevorzugen die Tierpfleger zur Entmistung aber einen Wasserschlauch, falls das dafür benötigte Wasser zur Verfügung steht. Die entstehende Gülle fließt dann über offene Gräben zu einer Sammelstelle, wo sie meist nicht weiter bearbeitet wird und die Umwelt belastet.

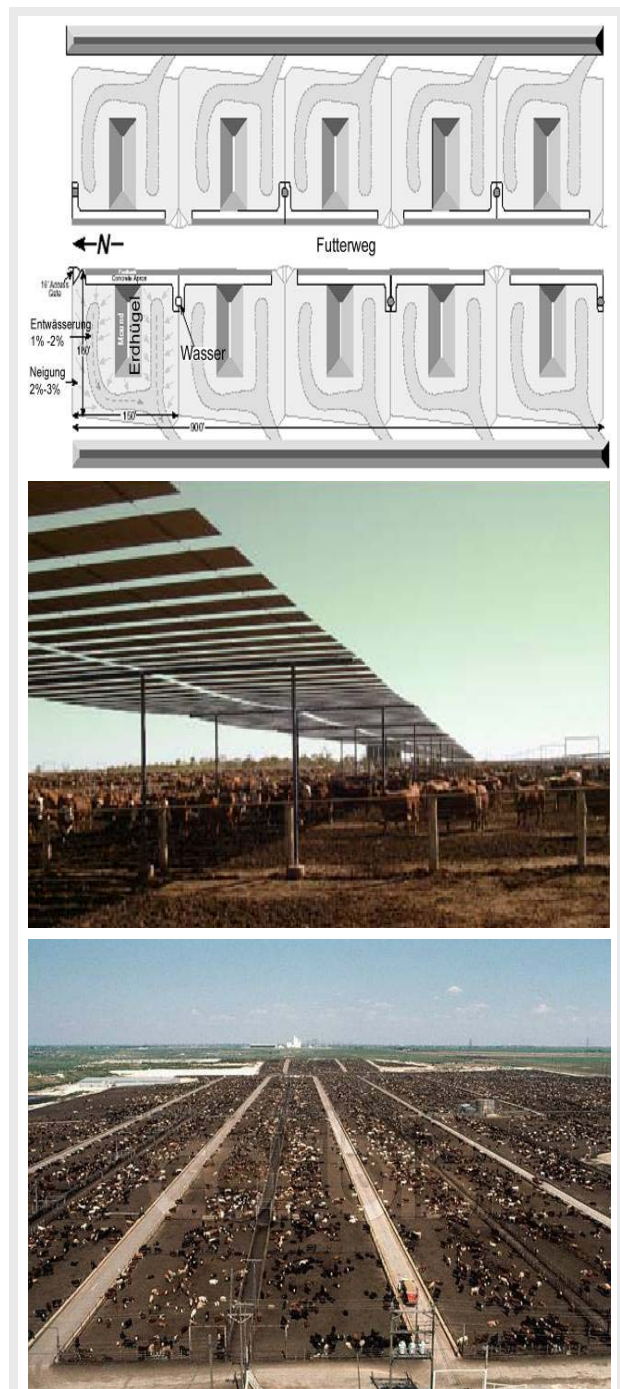


Abb. 2.11 oben: Typische Anordnung für Feldhaltung - 100 Köpfe pro Abteilung in USA (HARNER und MURPHY, 1998), Mitte: Beispiel aus Südaustralien, unten: Beispiel aus Texas, USA (FAO)

2.2.3.3 Verfahren der Milchproduktion mit Kühen

Die Milchproduktion mit Rindern ist analog zur Schlachtrinderproduktion mit unterschiedlichen Intensitätsstufen möglich. Es gibt im Allgemeinen zwei Systeme der Milchproduktion:

■ **Extensive Milchproduktion mit Mutterkühen:** Die von Menschen nutzbare Milchmenge beläuft sich auf weniger als 500 kg. Hinzu kommt die Milch für die Ernährung des Kalbes, die zwischen 500 und 800 kg liegt. Das Kalb saugt 8 - 10 Monate. Die manuell gewonnene Milch dient zur Eigenversorgung. Da im Regelfall aus infrastrukturellen Gründen wenig Absatzmöglichkeiten für Milch bestehen und die Lagerfähigkeit nicht gegeben ist, wird nur so viel Milch ermolken, wie verbraucht, verkauft oder verarbeitet werden kann. Ein einfacher Stall aus natürlichen Baumaterialien wurde gebaut und in der Nähe des Wohnhauses gelegt (Abb. 2.12).



Abb. 2.12: Milchviehstall für eine Einzelkuh - Uganda (FAO)

■ **Intensivierte Milchproduktion:** Sie erfolgt mit Rinderrassen, die vorwiegend im Zweier oder Dreierernutzungstyp stehen. Voraussetzung für die Produktion ist das Vorhandensein einer Molkerei oder die Möglichkeit des Direktverkaufs. Kann die Futterversorgung ganzjährig gesichert werden (Ackerfutterbau, Konservatorzeugung, Konzentrateinsatz), dann sind Milcherträge je Laktation von 1500 - 2500 kg möglich. Intensive Produktionsverfahren sind bei der Milchproduktion in den Tropen und Subtropen anwendbar, wenn:

- ganzjährig Grobfutter sowie hinreichend Konzentrate verfügbar sind,
- der Standort der Milchproduktionsanlage so ausgewählt wurde, dass Hitzestress, Blutparasiten und andere Krankheiten wenig oder gar nicht das Leistungspotential der Tiere vermindern (Höhenlage),
- Genotypen zur Verfügung stehen, die entweder Leistungsrassen der gemäßigten Gebiete sind oder wo die Leistungsrassen einen hohen Genanteil am eingesetzten Tiermaterial haben,
- die Stallgebäude für eine intensive Produktion geeignet sind,
- Arbeitskräfte und Leitungskader umfangreiche Produktionserfahrungen in der intensiven Milchproduktion haben und
- sich eine Milchverarbeitung und/oder Verbrauchszentren in der Nähe der Anlagen befinden.

■ Stall- und Haltungssysteme

Für eine intensive Milchproduktion ist es in den Tropen und Subtropen notwendig, die Tiere aufzustallen. Das schließt die Fütterung durch Weidegang nicht aus, erlaubt aber, die am Tier anfallende Arbeit leichter und schneller durchzuführen, die Milchbildung zu fördern und schädliche biotische Umwelteinflüsse abzuschirmen. Die Aufstallung kann in offenen oder geschlossenen Ställen erfolgen. Mindestanforderungen bei der intensiven Milchproduktion erfüllen Schattendächer ohne Wände. Häufig stehen in subtropischen Gebieten dreiseitig geschlossene Ställe. Da auch der Wind oft eine ungünstige Auswirkung auf die Tiere hat, kann eine solche Ausführung unvorteilhaft sein. Günstig erscheint es, wenn die Tiere nachts einen Auslauf haben oder auf die Weide getrieben werden und tagsüber in einem allseitig geschlossenen Stall stehen. Eine wärmegeämmte Decken- und Wandgestaltung verzögert das Ansteigen der Temperatur im Stall um mehrere Stunden und verkürzt damit die Aufenthaltsdauer im ungünstigen Temperaturbereich. Nachts wird der Stall gelüftet und dabei gekühlt. Gegebenenfalls

kann man mit einer adiabatischen Kühlung (d.h. durch Einsprühen von Wassertropfen in den Stall) den Tieren Linderung der Tageshitze verschaffen. Solche offenen Ställe werden immer ein Kompromiss zwischen Bauaufwand und Leistung der Tiere sein.

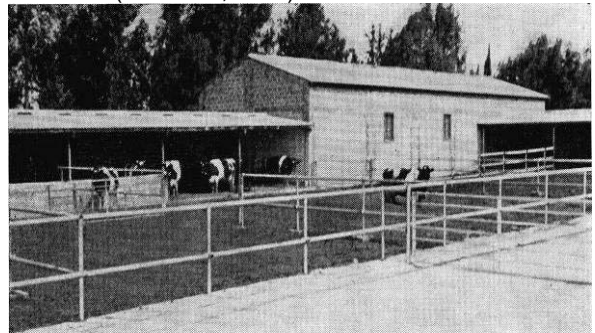
Die Milchkühe werden überall auf der Welt in zwei Systemen gehalten: Anbindstall oder Laufstall.

– Im **Anbindstall** steht das Tier immer an der gleichen Stelle. Der Mensch sucht täglich etwa 10-mal jedes Tier auf, um es zu füttern, zu melken, zu pflegen und den Stall auszumisten. Die wichtigsten Vorteile des Anbindstalles sind, dass sich die Verantwortlichkeit der Arbeitskräfte für die Tiere gut überschauen lässt, dass eine einfache Dokumentation auf Stalltafeln möglich ist, und das Futter genau dosiert werden kann. Anbindställe sind in den Tropen meist mit Kurzständen ausgerüstet. Oftmals werden die Kühe ohne Einstreu aufgestallt.

– Im **Laufstall** ist das Tier nicht auf einen Standplatz fixiert. Es kann sich innerhalb von abgetrennten Bereichen frei bewegen. So kann es zum Futterplatz gehen, sich an beliebiger Stelle aufhalten oder sich einen Platz zum Wiederkäuen und Ruhen suchen. Man nutzt den Vorteil der Beweglichkeit der Kühe, indem man den Tieren die Möglichkeit gibt, selbständig verschiedene Stallbereiche aufzusuchen. Die Tiere können selbst zum Futter, zum Melkplatz und zu den Behandlungsplätzen gelangen. Vorteilhaft beim Laufstall ist, dass ein geringerer Arbeitszeitbedarf für die Tierpfleger entsteht. Da aber andererseits das Kontroll- und Dokumentationssystem kompliziert ist, die einzelnen Tiere in der Herde untertauchen und damit jede individuelle Betreuung erschwert wird, sind qualifizierte Arbeitskräfte mit großen Erfahrungen für eine ordnungsgemäße Bewirtschaftung von Laufställen erforderlich. Laufställe mit Einzelliegeboxen sind selten anzutreffen, weil sie einen höheren materiellen und finanziellen Aufwand erfordern. Aber die Liegeboxenaufstallung ist im Hinblick auf einen hohen Milchertrag günstig (Abb. 2.13).



Stall für Milchrinder europäischer Herkunft mit anschließender Koppel, Kibarua-Farm, Daressalam - Tansania (SCHWARK, 1972)



Offenstallanlage für Holstein-Friesian-Kühe auf der Staatsfarm von Morphou - Zypern (SCHWARK, 1972)



Rinderstall im Libanon



dreiseitig geschlossene Ställe – ein Betrieb aus Kalifornien - USA (Niles, 2000)

Abb. 2.13: Beispiele von Stallsystemen aus verschiedenen Ländern

■ Futtermittellversorgung

Bei intensiver Milchproduktion steht allerdings nicht immer die Frage an, ob Weidegang oder Stallfütterung besser geeignet sind. Vielmehr ist zu entscheiden, mit welchen Anteilen Weidegang und Stallfütterung zur Anwendung kommen. Die Futtermittellversorgung der Kühe erfolgt in den Tropen oft durch (Nacht)-Weide auf künstlich angelegten Weideflächen. Es ist ungünstig, die Tiere bei starker Sonneneinstrahlung auf der Weide zu belassen, wenn keine Schattenbäume vorhanden sind. Da aber Schattenbäume unter den weidenden Tieren leiden und die Weidepflege erschweren, sowie in Afrika das Auftreten der Tsetsefliege fördern, ist es günstiger, die Tiere nur morgens und abends oder nachts auf die Weide zu bringen.

Die Stallfütterung kann mit Grundfutter, Silage und / oder Heu durchgeführt werden. Dabei ist es technologisch vorteilhaft, Grundfutter gehäckselt einzusetzen, da sich durch ein Häckseln die Arbeit erleichtert. Neben der Verteilung des Futters in Handarbeit sind fast ausschließlich mobile Verfahren gebräuchlich, weil sie keinen Elektroanschluss benötigen und vielseitiger einsetzbar sind (Karre, Anhänger, Futtermittelverteilwagen, auch Frontlader). Das Futter wird in der Krippe verteilt oder entlang des Gehegezaunes abgeladen. Konzentratfutter wird zweckmäßigerweise bei Laufställen im Melkstand verabreicht.

■ Melken

Die in tropischen Regionen am meisten benutzten Melkanlagen sind die Kannenmelkanlage (relativ geringe Investition) und der Fischgrätenmelkstand (hohe Melkleistung je Arbeitskraft). Bei höheren Tierkonzentrationen im Laufstall werden mit dem Fischgrätenmelkstand gute Ergebnisse erzielt. Seine wesentlichen Vorteile sind: gute Arbeitsbedingungen, gute Melkarbeit, relativ geringe Investitionen. Nach der Gewinnung muss die Milch sofort gekühlt werden. Falls die Milch zur Frischversorgung direkt an die Bevölkerung verkauft wird, ist es notwendig, sie zu pasteurisieren und danach erst zu kühlen, um eine Krankheitsübertragung zu verhindern (LEGGEL, 1989).

■ Entmistung

Die intensive Milchproduktion ist fast immer an Stallanlagen gebunden. Diese Stallanlagen müssen täglich entmistet werden. Der anfallende Mist ist ein sehr wertvolles Abfallprodukt, das im Ackerbau, aber auch auf Weiden und in Dauerkulturen mit großem Nutzen als organischer Dünger verwendet wird und Handelsdünger ersetzen kann.

Häufiger wird der Kot getrocknet und als Heizmaterial verwendet, er wird mit einer Karre aus dem Stall gebracht; auch Traktoren mit Schiebeschild sind üblich. Steht ausreichend Wasser zur Verfügung, wird der Kot aus dem Stall gespült. Kanalsysteme und Spaltenböden werden selten verwendet, da sie den Investitionsaufwand sehr erhöhen würden.

Wird der Kot mit Wasser aus dem Stall gespritzt, muss die entstehende Gülle in Gruben aufgesammelt werden. Das ist häufig nicht der Fall; die Gülle läuft in ein Oberflächengewässer (Fluss) oder versickert in der Umgebung. Derartige Verfahrenslösungen sind nicht angebracht (Umweltschäden, Fliegenbelastung, Infektionsrisiko usw.).

KAPITEL

3

Analyse der Gegebenheiten der Rinderhaltung unter den Klimabedingungen Syriens

3.1 Milchviehhaltung in Syrien

3.1.1 Allgemeiner Überblick Syriens (Geographie, Klima und Bodennutzung)

■ Geographie und Klima

Syrien liegt an der östlichen Mittelmeerküste zwischen $35^{\circ} 40'$ bis $42^{\circ} 20'$ östlicher Länge und $32^{\circ} 25'$ bis $37^{\circ} 20'$ nördlicher Breite und umfasst ein Territorium von 185 180 km² (Abb. 3.01-A). Betrachtet man den syrischen Raum, so folgen von Westen nach Osten einer schmalen Küstenebene die westlichen Hochgebirge, eine dazwischenliegende Grabenzone und eine östliche Hochfläche. Die syrische Küste am Mittelmeer ist 175 km lang. Das ist von entscheidender Bedeutung für das Klima des Landes. Die gesamte Mitte, der Osten und der Süden des Landes gehören zur großen syrischen Wüste. Die Küstenregion der SAR liegt in der mediterranen Zone mit ausgesprochen gemäßigttem Mittelmeerklima. Nach Osten hin schließt sich ein kontinental arides Klima an. Die Sommer werden heißer und trockener und die Niederschläge spärlicher. Im Tagesverlauf der Sommermonate ist infolge des fast wolkenlosen Himmels eine hohe Temperaturdifferenz zu verzeichnen. Im Winter dagegen sind die mittleren Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht gering. Der Witterungsverlauf wird durch eine lockere Abfolge von Wolken und Regen bringender Zyklone bestimmt, welche die Ein- wie Ausstrahlung vermindern. Die beiden Hauptjahreszeiten, Sommer und Winter, dauern je etwa vier Monate, dazwischen erscheinen Frühjahr und Herbst als kurze Übergangsjahreszeiten. Die Niederschläge fallen größtenteils in den Monaten Dezember bis März. In der ariden Zone sind 9 Monate des Jahres vollkommen regenfrei. Die syrische Region lässt sich nach der Verteilung der Niederschläge der Abbildung 3.01 - B in fünf Klimazonen unterteilen.

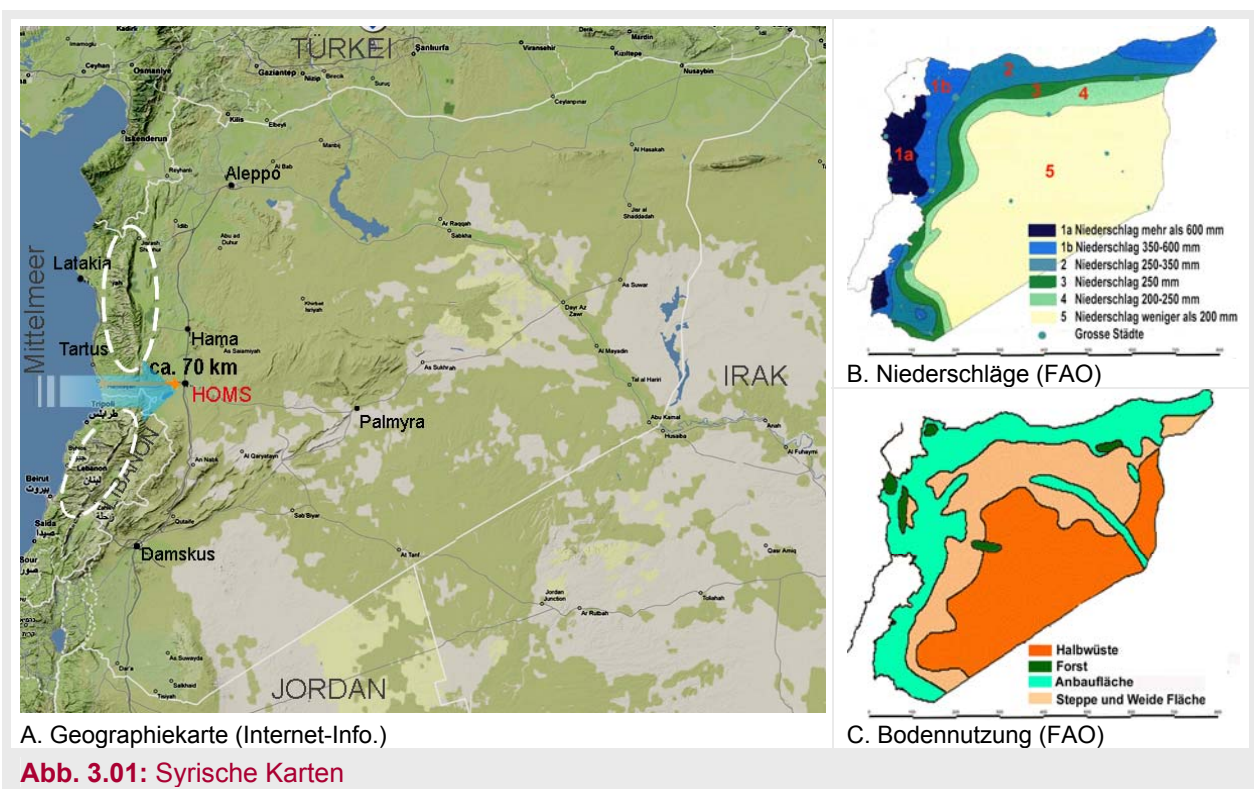
■ Bodennutzung

Syrien verfügt über etwa 6 Millionen Hektar landwirtschaftlich nutzbares Gebiet und etwa 8,2 Millionen Hektar Weideland. Ein Großteil des kultivierbaren Gebietes ist bewässert, etwa 23 % der landwirtschaftlichen Fläche bzw. 8 % der gesamten Fläche von Syrien, aber es gibt auch weitere Areale, die aufgrund von Wassermangel nicht genutzt werden können (SARSTAT, 2008). Bewässerung ist oftmals sogar in Regionen notwendig, in denen der jährliche Niederschlag relativ hoch ist, da es meist im Winter und nicht in der Vegetationsperiode regnet.

Die landwirtschaftlichen Produktionsmöglichkeiten sind von den klimatischen und geographischen Bedingungen abhängig. Die Bodennutzung in Syrien wird in der Abbildung 3.01 - C und der Tabelle 3.01 dargestellt.

Die traditionelle Hauptproduktion der syrischen Landwirtschaft beruht auf dem Getreideanbau, der seine Verbreitung im ganzen Lande, besonders aber im Hochland und im „*Dschasiragebiet*“ (Nordostsyrien) hat, aber ebenso in den an Niederschlägen ärmsten Gebieten der Steppe. Der Anbau von Weizen hat mit 80 % der gesamten Getreideanbaufläche eine dominierende Stellung. An zweiter Stelle steht Gerste. Neben dem Getreideanbau kommt dem Anbau von Baumwolle eine große ökonomische Bedeutung zu.

Die Bewässerungskulturen einschließlich des Futterpflanzenanbaues konzentrieren sich hauptsächlich auf die Gebiete entlang der Wasserläufe als Kanalbewässerungszone „*Ghoutagebiet um Damaskus, Ghabgebiet, Euphratgebiet, Dschasiragebiet*“ oder beruhen auf Quellen- bzw. Brunnenbewässerung (Küstengebiet, Aleppoebene, Übergangsgebiet zur syrische Halbwüste). In der Landwirtschaft sind ca. 20 % aller Erwerbstätigen des Landes beschäftigt (SARSTAT, 2008).



Tab. 3.01: Entwicklung der Bodennutzung in Syrien zwischen 2001 und 2007 (SARSTAT, 2005, 2008; SARSTAT Ldw, 2007)

Nutzungsart		2001	2003	2005	2007	2007	
		[1000 ha]				[%] Gesamtfläche	
1	Kultivierbare Fläche	5988	5863	5934	6039	32,6 %	
	genutzte Flächen	5478	5450	5 563	5682	30,7 %	der Gesamtflächen
	bewässerte Flächen	267	1361	1426	1396	23 %	
2	Unkultivierte Fläche	3690	3730	3 720	3688	20 %	
3	Weideland	8273	8335	8 266	8214	44,4 %	
4	Waldfläche	567	590	598	576	3 %	
Gesamte Fläche		18 518				100 %	

3.1.2 Rinder und Milchproduktion

Im Syrischen Statistischen Abstract für das Jahr 2008 wurden die Werte der landwirtschaftlichen Produktion für die Jahre 2000 - 2007 wie in der Abbildung 3.02 angegeben. Bezogen auf den Durchschnitt des Jahres 2007 betrug der wertmäßige Anteil der Milch und Milchproduktion an der tierischen Produktion etwa 44 %, an der landwirtschaftlichen Produktion ca. 17 % und an der gesamten Produktion etwa 2 %. Aus diesen Zahlen geht hervor, dass die Milchproduktion der SAR sowohl im System der Landwirtschaft als auch speziell im Rahmen der Tierproduktion noch eine untergeordnete, wenig entwickelte Stellung einnimmt.

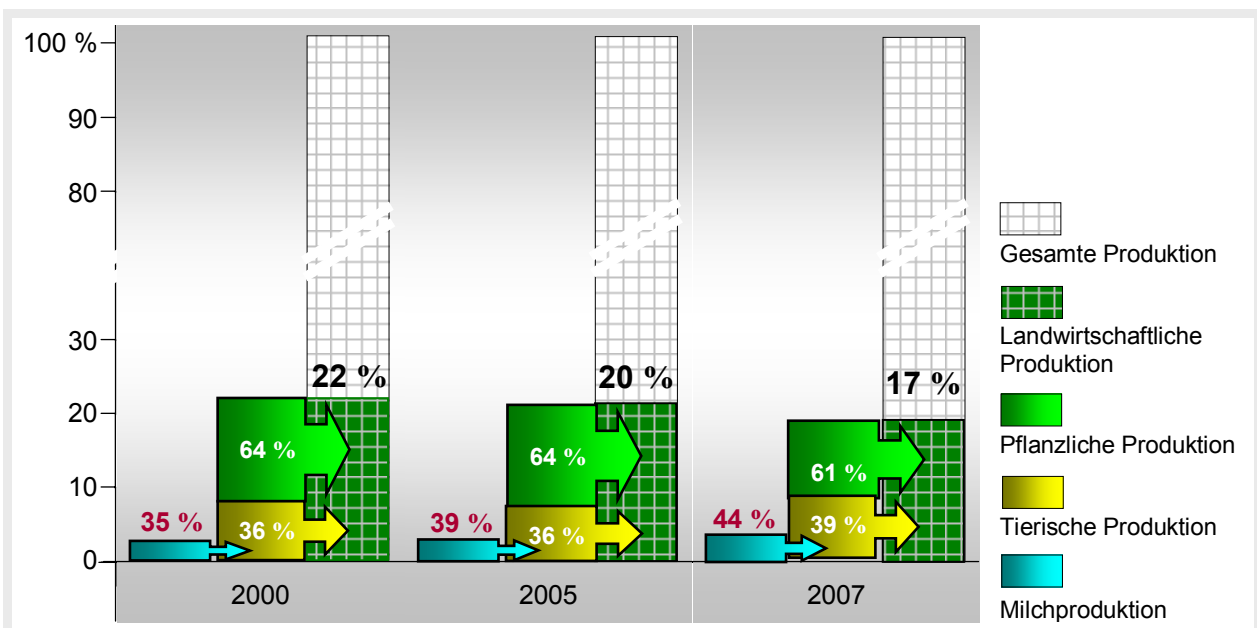


Abb. 3.02: Darstellung zum Anteil der Milch und Milchproduktion an der landwirtschaftlichen Produktion und gesamten Produktion in SAR (SARSTAT, 2008)

Die Bestände an Rindern in Syrien sind nach Angaben des Zentralen Büros für Statistik der Syrischen Arabischen Republik in der Abbildung 3.03 angegeben. Die Rinderproduktion der SAR ist gekennzeichnet durch das Vorherrschen extensiver Formen in der Haltung und wirtschaftliche Nutzung der Rinder. Für die Erzeugung von Fleisch und Milch kommt der Rinder- und Schafhaltung in Syrien die größte Bedeutung zu. Entsprechend den Angaben in den Statistical Abstracts 2008 kann geschätzt werden, dass die Rinderzahl in Syrien des Jahres 2007 ca. 1,2 Millionen betrug, 54 % davon sind Milchkühe. Im Durchschnitt wurden 2007 ca. 1700 kt Kuhmilch produziert. An der Gesamtmilcherzeugung, die im Mittel etwa 2680 kt betrug (Rind, Schaf, Ziege und Büffel), ist die Kuhmilch mit etwa 64 % beteiligt.

Nach FAOSTAT (2009) wurden im Jahr 2005 rund 8400 Rinder und rund 15 000 t Milch importiert, um den Mangel der lokalen Milchproduktion zu decken (Tab. 3.02).

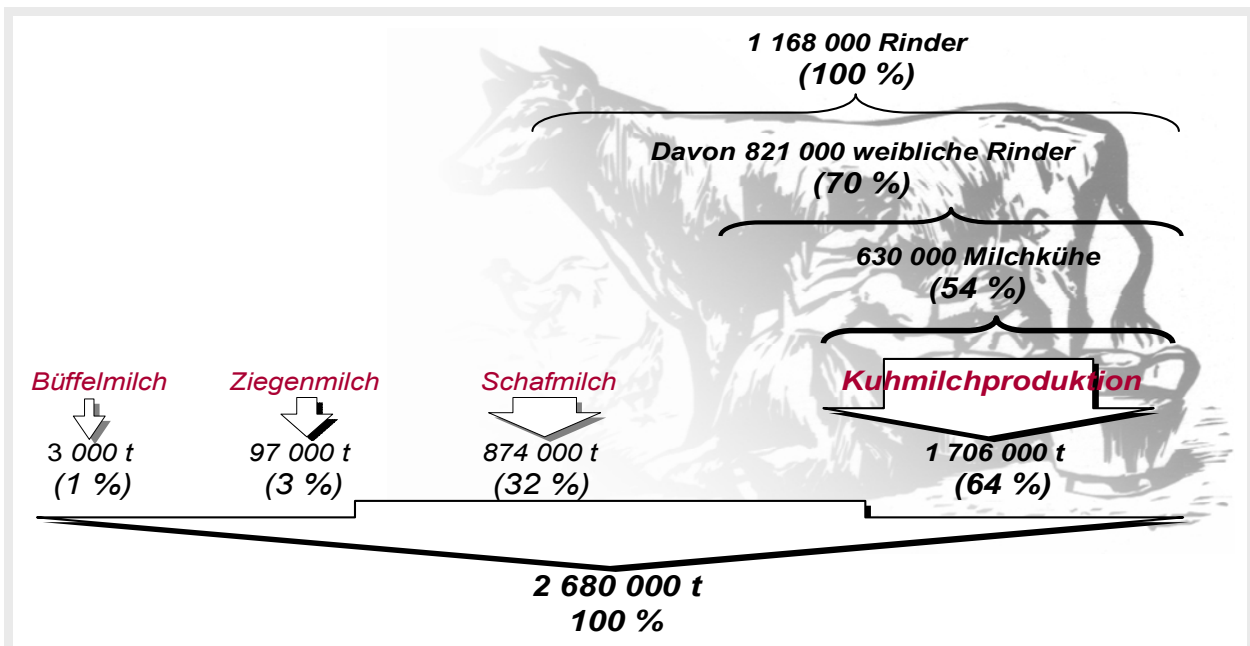


Abb. 3.03: Milchproduktion in Syrien im Jahr 2007 (SARSTAT, 2008; SARSTAT Ldw, 2007)

Tab. 3.02: Exporte und Importe von Rindern und Milch in Syrien und Deutschland in 2005 zum Vergleich (FAOSTAT, 2008)

Exporte und Importe von Rindern

	Import [1000 Rinder]	Export [1000 Rinder]
Syrien	8,4	0
Deutschland	103,4	657,8

Exporte und Importe von Milch

	Import [1000 t]				Export [1000 t]			
	Frisch-milch fettarm	Milch-pulver fettarm	Milch-pulver Vollfett	Frisch-milch Vollmilch	Frisch-milch fettarm	Milch-pulver fettarm	Milch-pulver Vollfett	Frisch-milch Vollmilch
Syrien	1	5,1	10,6	0	o. A.	0	0	0
Deutschland	84,8	47	42,2	17,7	329,7	208,8	64	3

■ Pro-Kopf-Verbrauch

Zu den durchschnittlich ca. 100 kg Milch, die je Kopf und Jahr 2005 in Syrien verzehrt wurden, steuert die Milchproduktion etwa 115 kg bei, davon ist die Kuhmilchproduktion ca. 70 kg. Im gleichen Zeitraum liegt der Milchkonsum in Deutschland bei ca. 248 kg/Person/Jahr. Die Milchproduktion beträgt etwa 345 kg/Person/Jahr, die zu ca. 99 % aus Kuhmilch besteht (FAOSTAT, 2009) (Abb. 3.04).

Umgerechnet in Milchäquivalent, zeigen sich weltweit große Unterschiede. Während in Westeuropa und den meisten Industrieländern um die 300 kg pro Kopf konsumiert werden, liegt dieser Wert in Afrika bei nur ca. 35 kg, in Asien bei nur 45 kg und in Lateinamerika bei 120 kg (Milch - Agrarmärkte, 2004). In den Entwicklungsländern sind die Bevölkerungsentwicklung, die Verstädterung und die Wirtschaftsentwicklung treibende Kräfte der Nachfrage. In den Industrieländern rücken Nachfrageverschiebungen zugunsten höher veredelter Milchprodukte mit Gesundheits-, Bequemlichkeits-, Verpackungs-, Umwelt- und Genussaspekten gegenüber dem Mengenwachstum in den Vordergrund.

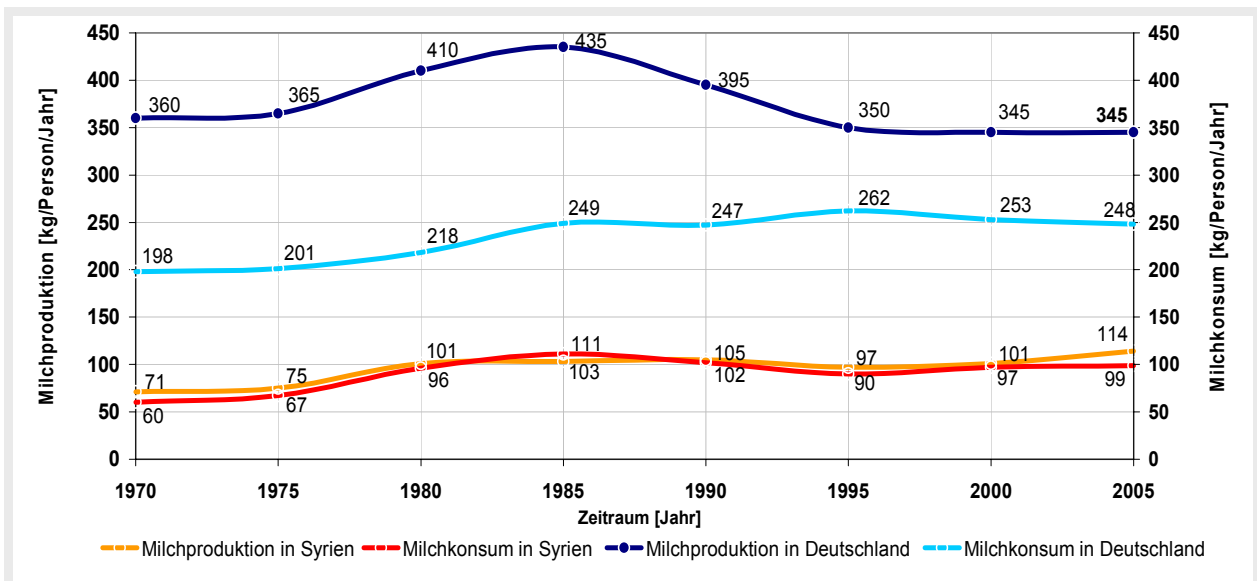


Abb. 3.04: Milchproduktion und Verbrauch von Milch in Syrien - Vergleich mit Deutschland (FAOSTAT, 2009)

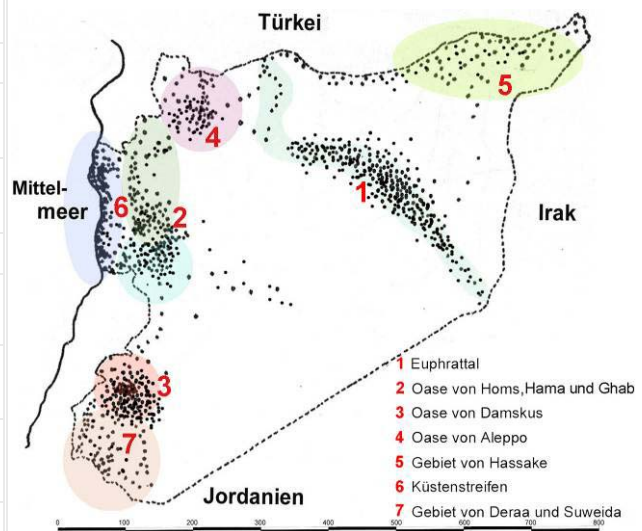
3.1.3 Territoriale Verbreitung der Rinderbestände

Die natürlichen Bedingungen Syriens begrenzen die Möglichkeiten der Entwicklung einer wirtschaftlichen Rinderhaltung auf den schmalen, niederschlagreichen Küstenstreifen am Mittelmeer (Abb. 3.05, Gebiet 6), auf die bewässerten Regionen entlang der Flussläufe (Gebiet 1) und die Oasen der Städte (Gebiete 2, 3 und 4) sowie auf die Gebiete mit Trockenfeldbau. Der restliche Rinderbestand findet sich weit verstreut entlang der syrisch-türkischen Grenze und in den Trockenfeldbaugebieten um „Deraa, Suweida und Hassake“. Der Mangel an ausreichenden Niederschlägen verhindert die Bereitstellung einer Futtergrundlage im überwiegenden Teil des Landes. Aufgrund dieser Gegebenheiten ist gegenwärtig der Rinderbestand in Syrien auf 7 Gebiete konzentriert mit den nachstehenden Bestandsgrößen (Tab. 3.03 und Abb. 3.05).

Tab. 3.03: Verbreitung des Rinderbestandes in Syrien.

Abb. 3.05: Verbreitungskarte der Rinder (SARSTAT Ldw, 2007)

Gebiet	Rinderzahl (1000)	
1 Euphrattal	269	23 %
2 Oase von Homs, Hama und Ghab-Gebiet	246	22 %
3 Oase von Damaskus (Ghouta)	230	20 %
4 Oase von Aleppo	143	12 %
5 Gebiet von Hassake	110	9 %
6 Küstenstreifen zwischen Lattakia und Tartus	90	7 %
7 Gebiet von Deraa, Suweida und Quneitera	85	7 %
Gesamt	1170	100 %



Wie die Zahlen bei der Gegenüberstellung der vorhandenen Bestände mit der kultivierten bzw. ackerbaulich genutzten Fläche beweisen, gibt es zwischen den einzelnen Bezirken beträchtliche Unterschiede in der Konzentration der Rinderbestände. Insbesondere in den Küstenbezirken „*Lattakia* und *Tartus*“, den Bezirken „*Deraa*, *Homs*, *Hama* und *Damaskus*“ liegen die absolute Zahl und der Flächenbesatz an Rindern wesentlich höher als z.B. in den Bezirken „*Al-Rakka*, *Hassake* und *Deir-el-Zor*“. Auch innerhalb der Bezirke gibt es zwischen einzelnen Gebieten beträchtliche Unterschiede in der Konzentration der Bestände. So wird z. B. im Bezirk „*Damaskus*“ der größte Teil der Rinder in der „*Ghouta*“, der sich um Damaskus erstreckenden Oase, gehalten. Diese Oase nimmt jedoch mit ca. 40 000 ha nur etwa 11 % der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche des Bezirkes ein. Ähnliche Verteilungsverhältnisse gibt es auch in einigen andere Bezirken. Die territoriale Verteilung der Rinderbestände und Milchproduktion auf die einzelnen Bezirke der SAR sowie Niederschläge, Flächenbesatz und Zahl der Bevölkerung sind in der folgenden Tabelle 3.04 gekennzeichnet.

Die Rinderbestände haben absolut und bezogen auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen und die Einwohnerzahl einen geringen Umfang. Im Zeitraum von 2002 bis 2005 betrug der durchschnittliche Flächenanteil pro Milchkuh: 16 ha Weidefläche, ca. 11 ha kultivierte und ca. 9 ha ackerbaulich genutzte Fläche, für ein Rind: 8 ha Weidefläche, ca. 6. ha kultivierte und ca. 5 ackerbaulich genutzte Fläche. Auf 100 Einwohner kommen etwa 4,2 Kühe und 6 Rinder (SARSTAT, 2007).

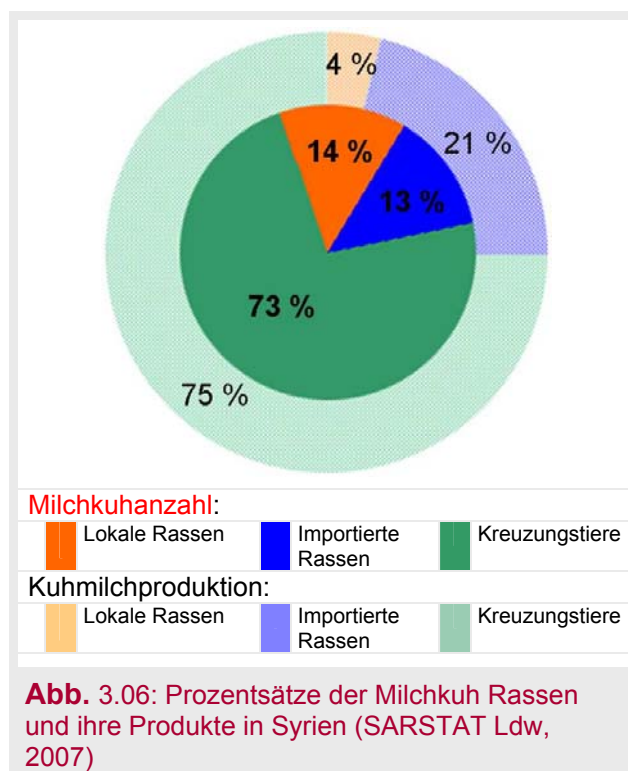
Nach Angaben der FAOSTAT (2002) wurden in den Jahren 2000 - 2001 je 100 Einwohner im Durchschnitt der Welt 23 Rinder gehalten, darunter u. a. in Amerika 55, in Afrika 28 Rinder, in Europa 22 und in Asien 12. In Deutschland gibt es je 100 Einwohner 6 Kühe und 16 Rinder.

Tab. 3.04: Verteilung der Rinder und Milchproduktion, Niederschläge, Weidefläche und Zahl der Bevölkerung auf die syrischen Bezirke 2004 (SARSTAT Ldw, 2007)

Gebiet	Bezirk	Rinderzahl und Milchproduktion			Niederschläge	Fläche		Bevölkerung
		Rinderzahl	Milchkühe	Milchproduktion		Totale Fläche	Weidefläche	
		[1000 R.]	[1000 K.]	[1000 t]		[1000 ha.]	[1000 ha.]	
2	<i>Damaskus</i> u. Umgebung	230	168	438	165 540	1814	1315	4156
4	<i>Aleppo</i>	87	73	180	411	1850	226	4393
3	<i>Homs</i>	123	109	194	412	4092	2690	1647
6	<i>Hama</i> u. <i>Ghab</i>	123	100	212	347	1018	318	1491
5	<i>Lattakia</i>	44	25	61	694	230	3	943
1	<i>Deir-el-zor</i>	247	120	239	142	3306	1883	1094
4	<i>Idleb</i>	56	44	88	499	610	44	1359
7	<i>Al-Hassaka</i>	110	80	75	217	2333	530	1377
1	<i>Al-Rakka</i>	22	18	20	155	1962	952	854
8	<i>Al-Sweida</i>	11	8	26	290	555	210	346
8	<i>Dar'a</i>	46	29	69	216	3306	1883	916
5	<i>Tartus</i>	46	28	78	876	190	3	750
8	<i>Quneitera</i>	28	17	25	589	186	13	79
	Total	1170	821	1705	440	18518	8214	19405

3.1.4 Hauptrinderrassen

Nach der jährlichen landwirtschaftlichen Statistik für 2007 wurde die Milchkuhpopulation Syriens mit ca. 47 000 Milchkühen angegeben. Die Masse der syrischen Rinder entfällt auf einige bodenständige Rassen, unter denen die „*Shami*, *Akshi* und *Goulani*“ an erster Stelle zu nennen sind. Weiterhin gibt es ca. 74 000 importierte Rassen, vorwiegend Holstein-Friesian, Rotes Dänisches Milchvieh, Angler und Braunvieh sowie etwa 700 000 Kreuzungstiere zwischen den bodenständigen und importierten Rassen. In der Abbildung 3.06 wurden nach syrischem Statistical Abstract für Landwirtschaft (2007) die Prozentsätze der lokalen, fremden und Kreuzungstiere und ihre Produktion von 1998 bis 2007 dargestellt.



Die hauptsächlich lokal vorkommenden Rinderrassen sind wie folgt:

1. *Goulani-Rind* ist eine in den südlichen Gebirgsregionen „*Goulan*“ und „*Hauran*“ gehaltene Rasse, deren Abgrenzung von der „*Akshi*“ schwer gelingt. Aus einiger Entfernung ähneln sie manchmal Friesian-Rindern.
2. Der überwiegende Teil der syrischen Rinder gehört der sehr heterogenen *Akshi-Rasse* an. Die Tiere dieser Rasse sind klein und widerstandsfähig. Sie werden nahezu ganzjährig frei grasend auf Stoppel- und Brachland gehalten. Ihre Hauptnutzungsrichtung besteht in der Fleischproduktion und der zeitweisen Arbeitsleistung. Die Milchmenge während der kurzen Laktationszeit beträgt im Maximum kaum mehr als 4 bis 5 kg pro Tag und reicht oftmals gerade für die Ernährung des Kalbes.
3. *Shami-Rinder* (Damaskusrind) oder „*Baladi*“ genannt (*Baladi* = Stadt), sind eine bodenständige Rasse. Die Tiere sind mit ca. 140 cm Widerristhöhe relativ groß. Man kann die Verwandtschaft zum Zebu erkennen. Die Tabelle 3.05 zeigt einen Körpermaß-Vergleich zwischen den Shami-Rindern und den nach Syrien importierten Schwarzbunten Rindern (Friesian).

Tab. 3.05: Körpermaß-Vergleich zwischen Damaskusrind und Friesian (BROWN, 1960)

		Damaskusrind	Friesian			Damaskusrind	Friesian
Körpermaße	[kg]	484	575	Körperlänge	[cm]	182	169
Brustumfang	[cm]	182	192	Beckenbreite	[cm]	48	58
Widerristhöhe	[cm]	138	129	Hüfthöhe	[cm]	144	-

„*Shami*“ ist das typische Milchrind in der Ghouta von Damaskus (Oase um Damaskus). In ganz Syrien kann man mit etwa 1550 Shami-Rindern rechnen (davon 1130 Milchkühe) (SARSTAT Ldw, 2007). Nach BROWN (1960) ist das Shami-Rind bezüglich der Milchleistung die im nahen Osten am weitesten entwickelte Rinderrasse. Es ist an das tropische Klima seines Verbreitungsgebietes sehr gut angepasst und zeigt gegenüber bakteriellen, virösen und protozoären Krankheiten gut Resistenz. Es ist unter ungünstigen Fütterungs- und Haltungsbedingungen noch zu halten, jedoch ist die genetische Veranlagung für eine hohe Milchleistung nur unter entsprechenden Ernährungs- und Trinkwasserbedingungen zu entfalten. Shami-Rassen vertragen die Hitze (bis etwa 40 °C). Das „Shami“ ist ein Fleisch-Milchrind und die jährliche Milchleistung der besten Shamikühe beträgt etwa 3000 kg. Der Milchfettgehalt wird im Mittel mit 4 % angegeben (Tab. 3.06). Im Vergleich mit europäischen Milchkuhrassen, z.B. Friesian, ist die durchschnittliche Jahresmilchleistung ca. 6500 kg (BOCKISCH, 1990). Trotzdem ist dieses Rind an Klima, Fütterungsbedingungen und Tierseuchen ausgezeichnet angepasst. Mehrheitlich werden sie in Einzelhaltung oder kleinen Gruppen bei privaten Betrieben oder Familien gehalten. In den staatlichen Rinderfarmen wird ausschließlich mit der Friesian-Rasse produziert. Bäuerliche Rinderhaltung wird überwiegend mit lokalen Landrassen überall dort betrieben, wo es die klimatischen Verhältnisse (Niederschläge) zulassen.

Tab. 3.06: Milchproduktion von lokalen Rinderrassen in Westasien und Nordafrika (LEGEL, 1989)

Rasse	Standort	Laktationsleistung	Laktationsdauer	Fettgehalt
		[kg/Jahr]	[Tag]	[%]
Damaskus	Westasien (Syrien)	1500 - 3000	190 - 300	4,0 - 5,0
Akshi	Westasien (Syrien und Jordanien)	600 - 907	150 - 250	4,5 - 5,0
Libyan	Nordafrika (Libyen)	454 - 1361	200 - 300	3,2
Braun Atlas	Nordafrika	450 - 600	150 - 180	4,0
Iraqi	Westasien (Irak)	1096 - 1611	259 - 300	4,1
Lebanese	Westasien (Libanon)	1000 - 2500	-	4,0 - 5,0
Persian	Westasien	300	-	-
Egyptian	Nordafrika (Ägypten)	907 - 2192	180 - 280	-

3.1.5 Verfügbare Futtermittel für die Rinder

In der Fütterung, d.h. in der Futtererzeugung als auch der Verarbeitung der Futtermittel für die Tiere sind extensive Formen bestimmend. Im klein- und mittelbäuerlichen Sektor nehmen die Tiere den überwiegenden Teil des Futters durch die Beweidung der Naturweiden oder nicht bebauter Flächen bzw. Beweidung von Wegrändern, Gräben Berghängen auf. In der Winterfütterung kommen in vielen Betrieben fast ausschließlich Häckselstroh „*Tibben*“ und Rückstände von Hülsenfrüchten sowie in äußerst geringen Mengen Kraftfutter zum Einsatz. Diese Art der Fütterung ist aus der Sicht dieser Produzenten billig. Futterkonservate (Heu, Silage) gibt es in diesen Betrieben praktisch nicht. In den Staatsfarmen und Genossenschaften sowie den großbäuerlichen auf Rinderproduktion spezialisierten Betrieben ist sowohl hinsichtlich der Grundfutter- als auch der Kraftfutter-Versorgung, trotz Einschränkung, was insbesondere die wissenschaftlich begründete Ernährung der Tiere betrifft, die Fütterung wesentlich intensiver.

■ Grundfutter

Die Rinderhaltung beschränkt sich in Syrien im Wesentlichen auf bewässerte Gebiete, wo der direkte Anbau von Futterpflanzen durchgeführt wird (z.B. in allen staatlichen Rinderfarmen Syriens), oder auf Gebiete mit ausgesprochenen Bewässerungskulturen (Obst und Gemüse), wo die Rinderhaltung als Nebenerwerbszweig betrieben wird. Die staatlichen Rinderfarmen liegen deshalb in den Brunnenbewässerungsgebieten des Landes (s. Abb. 3.05).

Die mit Abstand wichtigste Futterpflanze ist dabei die Luzerne. In günstigen Lagen zeichnet sie sich durch lange Vegetationsperioden (März bis Dezember) aus. Bei ganzjähriger Bewässerung (wichtigste Voraussetzung für den Anbau von Luzerne) und optimaler Düngung können bei jährlich 8 bis 10 Schnitten Erträge bis zu 1300 dt/ha erzielt werden. Neben den genannten Feldfutterpflanzen werden besonders in den privaten Farmen größere Mengen Gemüseabfälle verfüttert.

■ Kraftfutter

Den Hauptanteil der in der Rinderfütterung eingesetzten Futtermittel bilden Kraftfuttermittel; Getreide, Hülsenfrüchte sowie industrielle Getreide- und Baumwollsaatverarbeitungsprodukte. In geringem Umfang werden auch Hirse und Mais verfüttert. Baumwollsaatverarbeitungsprodukte sind in der Rinderfütterung der bäuerlichen Betriebe sehr selten eingesetzt worden. Neben den genannten Futtermitteln stehen noch alle bei der Zuckerrübenverarbeitung anfallenden Rückstände zur Verfügung.

Bei den Rassen in den Tropen und Subtropen kann man bezüglich der Ernährung die Erkenntnisse von Rindern aus gemäßigteren Klimazonen übertragen. Die Tabelle 3.07 zeigt, welchen Futterbedarf die Rinder haben; hier sei als Beispiel ein Auszug einer Untersuchung einer Rinderherde von 10 Friesian- und 10 Shami-Kühen unter subtropischen Bedingungen angeführt.

Tab. 3.07: Mittlerer Futterverzehr von 10 Friesian- und 10 Shami-Kühen unter subsubtropischen Bedingungen in Syrien (LEGEL und TAFRAN, 1970)

Parameter [kg/Tier/Tag]	Shami (Syrische Rasse)	Friesian (Europäische Rasse)
Grünfutterverzehr Mittelwert	31	38
Luzerne	33	37
Mai, Milchwachsreife	33	39
Sudangras	27	33
Grünmais	31	38
Grünhirse	23	37
Konzentratverzehr	4,1	5,8

3.1.6 Haltungs- und Stallsysteme

Die lokalen Rinderrassen sind in Syrien an die ungünstigen Bedingungen der Haltung adaptiert. Bei ausreichender Ernährung scheinen eigene Rinderrassen wie „*Joulani*“ eine gute Veranlagung zur Fleisch- und Milchproduktion zu haben. In Syrien gibt es zwei Haltungssysteme, die sind:

■ Extensive Haltung

Die gegenwärtigen Haltungsbedingungen in Syrien entsprechen den extensiven Produktionsbedingungen. Vorherrschend ist der Weidegang. Den meisten einheimischen Rindern schenken die Bauern Syriens weit weniger Aufmerksamkeit als dem Ackerbau. In den traditionellen Fellachenbetrieben werden Rinder nur als Nebenerwerb gehalten und mehr schlecht als recht durchgebracht. Auf der Weide werden gewöhnlich die Rinder verschiedener Besitzer eines Dorfes in einer Herde zusammengefasst. Die Ställe sind unter hygienischen Aspekten unzulänglich, und die Milchgewinnung ist primitiv. Das Jungvieh wird ohne besondere Sorgfalt und mit unzureichender Ernährung aufgezogen. In den bäuerlichen Betrieben werden praktisch alle Arbeiten von Hand ausgeführt. Arbeitskräfte sind ausreichend vorhanden und relativ billig. Einer Mechanisierung der wichtigsten Prozesse stehen der niedrige Konzentrationsgrad sowie die fehlenden finanziellen und materiellen Möglichkeiten entgegen.

■ Intensive Haltung

In den Gebieten, in denen das Brachjahr zwischen den Wintergetreidejahren durch ein Sommerfruchtjahr ersetzt wird, entwickelt sich in jüngster Zeit hier und dort schon eine intensivere Rinderproduktion, die auf Futterreserven wie Grünen Mais, Luzerne und Leguminosen, geschnitten oder als Weide, zurückgreifen kann. Eine wirklich intensive, in den Feldfutterbau integrierte und marktbezogene Rinderproduktion findet sich aber nur in den staatlichen Farmen in den sich entwickelnden genossenschaftlichen Beständen und in privaten Betrieben innerhalb der künstlich bewässerten Oasen in der Nähe der Städte. In diesen Beständen werden vorwiegend Rinder der Rassen Friesian und „*Sham*“ gehalten. In den staatlichen Betrieben mit Milchproduktion, in denen europäische Rassen gehalten werden, ist eine hygienische Stallhaltung üblich und die Milchgewinnung mechanisiert.

In den Staatsfarmen ist der Mechanisierungsgrad der Arbeiten noch niedrig. In der Regel erfolgt das Melken maschinell (Fischgrätenmelkstand), die Fütterung und Entmistung erfolgt in wenigen Fällen mit mobilen Geräten. Ansonsten ist auch hier die Handarbeit bestimmend. In den Staatsfarmen und einigen großbäuerlichen Betrieben sind die Haltungsbedingungen wesentlich günstiger.

Für Stallsysteme gibt es in der Regel in Syrien zwei bekannte Bausysteme für Rinderställe:

- den Massivbau aus Beton und
- den Offenstall mit Stahlbetonstützen und –dächern.

Die Stallhaltung ist auf Perioden beschränkt, die durch ungünstige Witterungsverhältnisse gekennzeichnet sind. Aufgrund der klimatischen Bedingungen auf dem Territorium Syriens sind Ställe leichter Bauweise mit der Funktion Schatten zu spenden und gegen Wind zu schützen erforderlich. Die optimale Lösung wird in der Verbindung der Laufstallhaltung mit dem Melkstand, der auch in der Winterperiode dem Melkerpersonal gute Arbeitsbedingungen ermöglicht, gesehen (RYBKA, 179).

Die landwirtschaftlichen Gebäude Syriens wurden früher mit traditionellen schweren Wandbauweisen gebaut. Dieses Bausystem wird heute wegen der Bauzeit und aus Kostengründen nicht angewendet. In den staatlichen großen Betrieben konnten die Stallgebäude mit Massiv-

beton gebaut werden und bei privaten kleinen Betreibern sind sie teilweise durch überalterte Verfahren unter Schwierigkeiten angewendet worden.

In den folgenden Abschnitten werden zwei Beispiele dieser Systeme zum Vergleich beschrieben.

3.1.6.1 Erstes Beispiel: Geschlossener Stall (Abb. 3.07)

- Die Anlage umfasst 80 Milchkühe und steht in „Deir-el-Hajar“ ca. 40 km südöstlich von Damaskus.
- Lage des Stalles in Nord-Süd-Richtung der Längsachse, in offener Wüstensteppe ohne Baum- und Buschbewuchs.
- Abmessung des Stalles: 40 x 12,7 m, Höhe 5,2 m, Dachneigung etwa 15°. An der vorderen Giebelseite des Stalles befinden sich ein Tor mit 3,0 m Breite und 3,7 m Höhe sowie 2 Türen (1,5 x 3,7 m). An den unteren Längswänden befinden sich jeweils 7 Klappfenster, die ständig geöffnet sind. An den unteren Längswänden sind 16 Fenster (0,8 x 0,9 m) angebracht, die ebenfalls permanent geöffnet sind.
- Der Versuchsstall wurde mit hohen Betonwänden gebaut.
- Als Baumaterial wurde für die Wände (Wandstärke 0,3 m) und für das Dach ein handgemischter Schwerbeton verwendet. Ebenso dient bewehrter Schwerbeton als Dachdeckung.
- Der Versuchsstall wurde für Milchvieh mit 80 Kuhplätzen errichtet, ständige Wasserversorgung aus einem gebohrten Brunnen. Wasserversorgung der Tiere ad libitum über Selbsttränken. Futtereinbringung durch Traktor mit Anhänger und Handverteilung in beiderseits des Futterganges liegenden durchgehenden Krippen. Das Melken erfolgt durch eine Rohrmelkanlage.
- In dieser Anlage werden Shami-Kühe (einheimische Rasse), Friesian sowie Kreuzungstiere (Shami mit Friesian) gehalten.
- Fütterung: 30 - 40 kg Grünfuttermittel oder Grünfutter und Silage / Heu (Mais, Luzerne, Hirse, Sudangras, Grüngerste), 3 - 7 kg Konzentratgemisch.

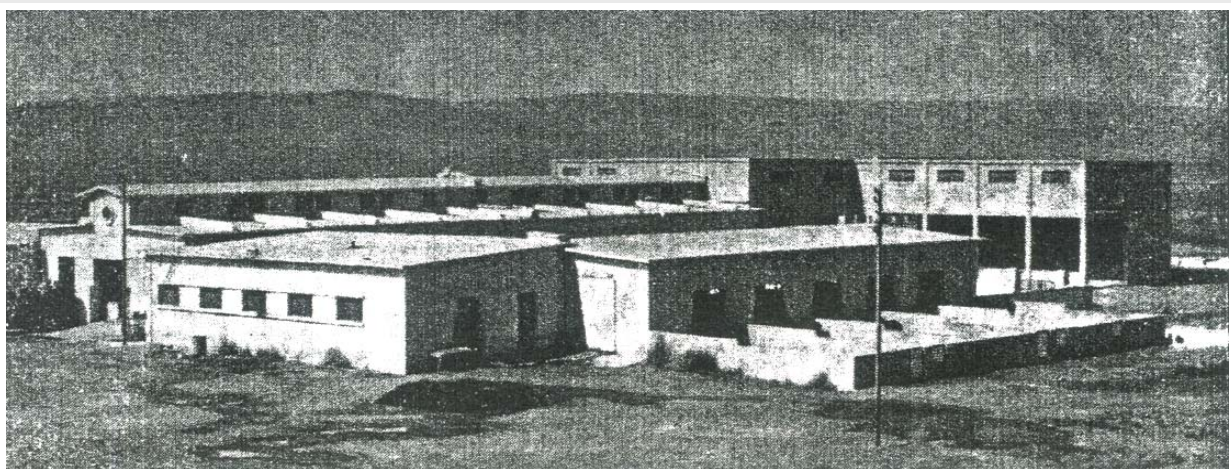


Abb. 3.07: Stallanlage für Milchkühe mit Nebengebäuden in der Versuchsstation Deir-el-Hajar / Damaskus

3.1.6.2 Zweites Beispiel: Offenstall (Abb. 3.08)

- Die Anlage umfasst ca. 100 Milchkühe und 150 Kälber, und steht in „Kharabo“ (Ghouta Oase – etwa 10 km von Damaskus).
- Sie ist auf Modulsystem (Raster) 4 x 4 m gebaut, in quadratischer Form. Abmessung der gesamte Anlage etwa 100 x 100 m und des Milchkuhstalles 100 x 54 m. Es gibt in der Mitte der Anlage einen quadratischen Hof (65 x 65 m), er dient als Auslauf und Übergang vom Stall zum Melkstand.
- Stallsystem und Konstruktion bestehen nur aus Säulen und Dächern, die aus Stahlbeton gefertigt wurden.
- Es gibt unterschiedliche Höhen des Daches. Beim Fressgang beträgt diese etwa 3,35 m, und im Ruhe- und Liegebereich bis 4,0 m.
- Für das Melken wird ein Fischgrätenmelkstand verwendet.
- Futtereinbringung durch Traktor mit Anhänger und Handverteilung in beiderseits des Futterganges liegenden, durchgehenden Krippen.
- Das Konzentratfutter besteht aus 30 % Gerste, 30 % Mais, 22 % Baumwollsaatkuchen und 15 % Weizenkleie. Das Grobfutter ist Weizenstroh und Lenzenstroh.
- Tiermaterial: Friesian und Kreuzungstiere.

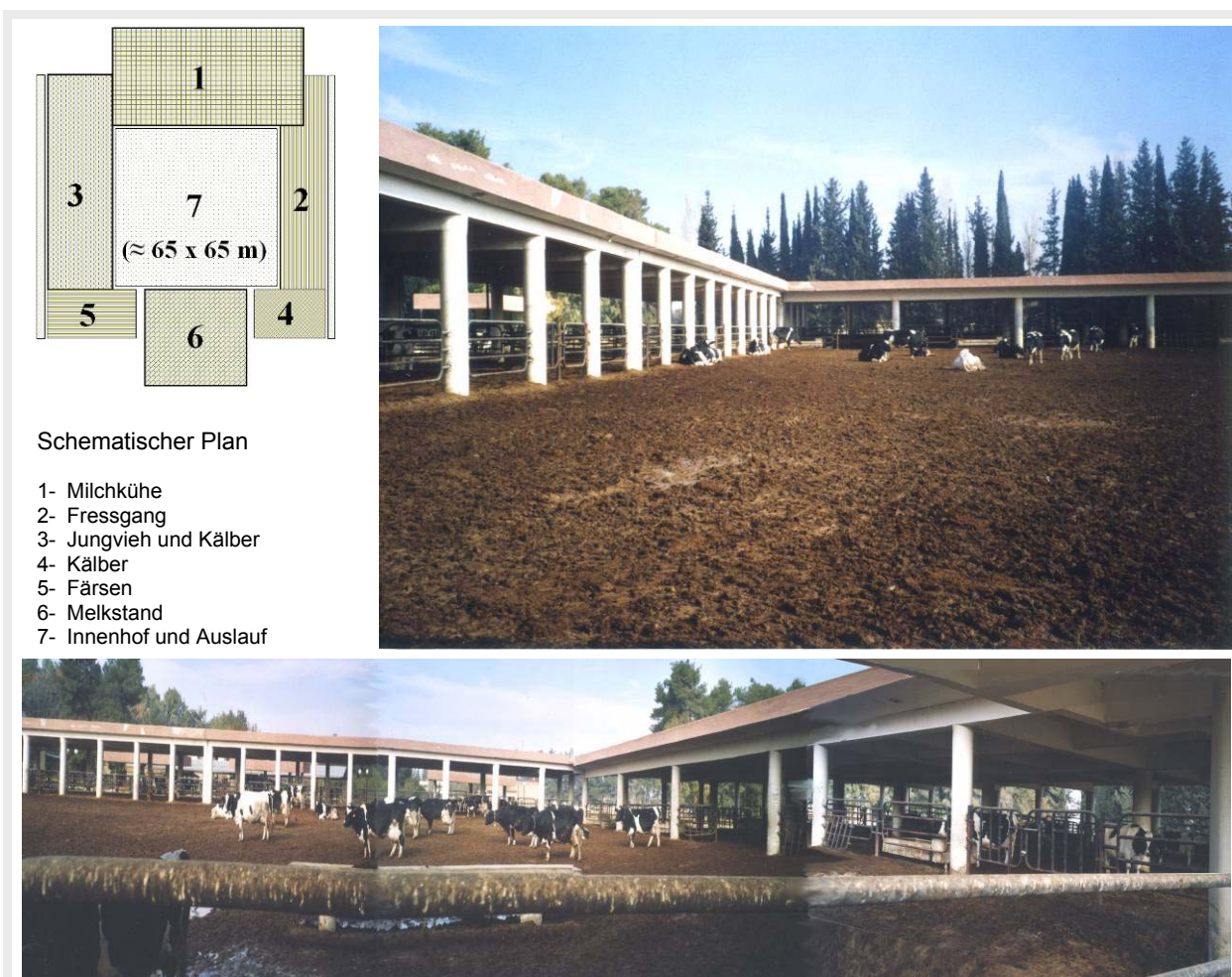


Abb. 3.08: Schema und eigene Fotos eines Offenstalles für Milchkühe - Kharabo / Damaskus (Eigene Fotos)

3.2 Klimatische Gegebenheiten Syriens

Eine der wichtigsten Funktionen für Menschen und Tiere ist der Schutz und die Gewährleistung der Sicherheit vor den Unbilden der Witterung. Daher gewinnt klimagerechtes Planen und Bauen wieder mehr an Bedeutung.

Auf Grund der großen Bevölkerungsdichte und dem Vorhandensein ausreichender Wassermengen wurde sich für das Homs-Gebiet entschieden. Weiterhin sprachen die großen landwirtschaftlichen Flächen sowie die klimatische Vielfalt für diese Region.

3.2.1 Allgemeine Klimacharakteristik des Homs-Gebietes

Homs liegt am 34° 44' nördlicher Breite und 36° 42' östlicher Länge von Greenwich, gegenüber der natürlichen Öffnung zwischen dem nördlichen Libanongebirge und dem Allawitengebirge, mit einer Luftlinienentfernung von etwa 70 km zum Mittelmeer (s. Abb. 3.01). Die Stadt dehnt sich auf einer Ebene mit einer Neigung von etwa 1,5 % in Richtung Nordwest aus. Der tiefste Punkt der Stadt liegt am „Orontes-Fluss“. Das Zentrum liegt 500 m ü. NN, die Stadt weist insgesamt einen Höhenunterschied von etwa 50 m zwischen den westlichen und östlichen Seiten auf. Östlich öffnet sich die Stadt ohne Hindernis zur Wüste. Die charakteristischsten Klimawerte der Stadt und ihrer Umgebung sind in der Tabelle 3.09 und 3.10 dargestellt.

3.2.2 Sonne und Temperatur

Ursache für sämtliche Klimaerscheinungen ist die Sonnenstrahlung. Sie nimmt damit entscheidenden Einfluss auf das Leben von Mensch und Tier. Die effektive Stärke der Sonnenstrahlung (Temperatur) wird von dem Einfluss der Einstrahlung der Sonne, der Reflektion der Erdoberfläche, dem Strahlungsverlust durch Verdunstung und den Strahlungsströmen der Atmosphäre bestimmt. Zusammen bilden sie den Strahlungshaushalt der Erde (LIPPSMEIER, 1980).

Die Wirkung der Sonnenstrahlen kann im Wesentlichen aus Dauer, Einfallswinkel und Stärke für einen bestimmten Ort ermittelt werden. Diese drei Faktoren sollten deshalb bei jeder Planung genau untersucht werden. Tabelle 3.09 (Zeile 7.11) und Abbildung 3.09 verdeutlichen die mittlere Sonnenscheindauer der Region Homs und zeigen den Anteil zu der astronomischen möglichen Dauer. Auffallend ist, dass in den acht Monaten (April bis November) dieser Anteil stets über 60 % liegt; im September sogar bei 83 %. Es ist auch hier zu bemerken, dass die maximal mögliche Sonnenscheindauer nur 90 % erreichen kann. Eine 100 %ige Einstrahlung ist unmöglich. Aufschluss über die Besonnungsverhältnisse in Homs vermittelt das Sonnenstandsdiagramm (Abb. 3.10), mit dessen Hilfe die direkte Sonneneinstrahlung zu jeder Jahres- sowie den Tageszeiten in den Gebäuden bestimmt werden kann und dazu wirksame Sonnenschutzmaßnahmen eingeleitet werden.

Als Folge des fast wolkenlosen Himmels erhält die Region eine relative hohe Sonneneinstrahlung (Tab. 3.08 und Abb. 3.11), die die Hauptursache der hohen Temperaturen ist. Tabelle 3.09 (Zeile 1 - 6) gibt Aufschluss über den Verlauf der Lufttemperaturen in der Stadt. Sie zeigt ein absolutes Maximum von 42 °C, aber auch ein absolutes Minimum von -10 °C.

Abbildung 3.12 und Tabelle 3.10 stellt einen Versuch dar, die Tagesamplitude der Lufttemperatur im Jahres- und Tagesverlauf anschaulich zu machen. Auf Grund fehlender Detaildaten wurde hier die Annahme getroffen, dass die Temperatur ihre Spitze zwischen 14:00 und 16:00

Uhr erreicht, während sie zwischen 3:00 und 6:00 Uhr ihr Minimum hat. Am größten ist sie während der Monate August, September und Oktober.

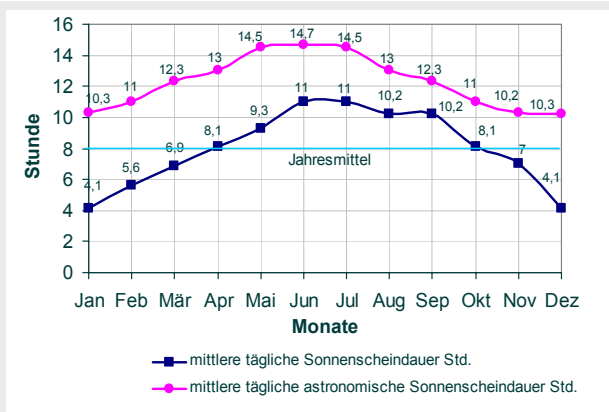


Abb. 3.9: Mittlere tägliche Sonnenschein-dauer in Homs (dargestellt nach Tabelle 3.09)

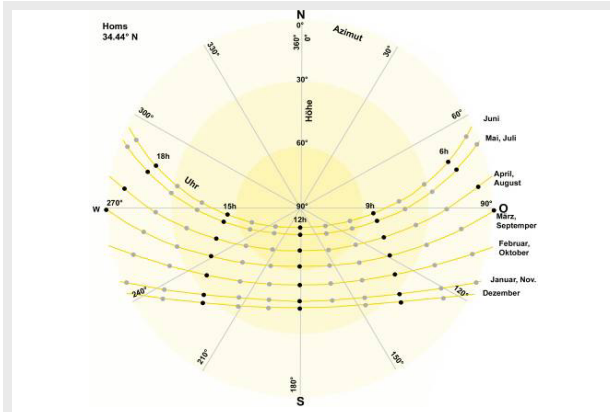
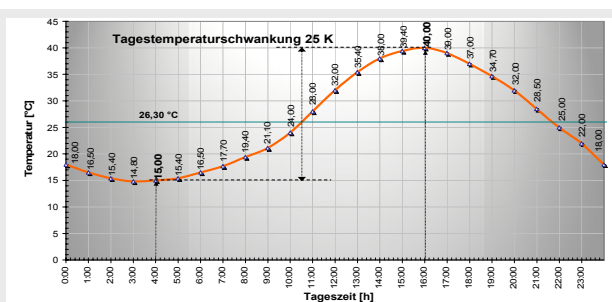
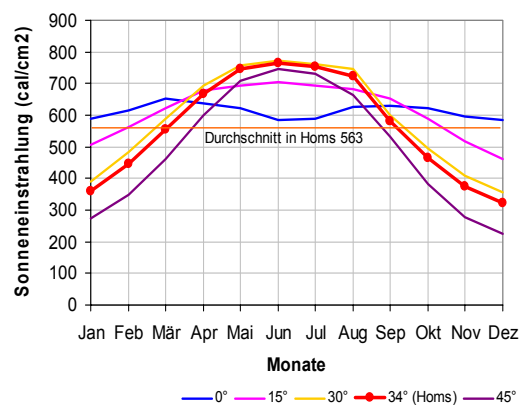


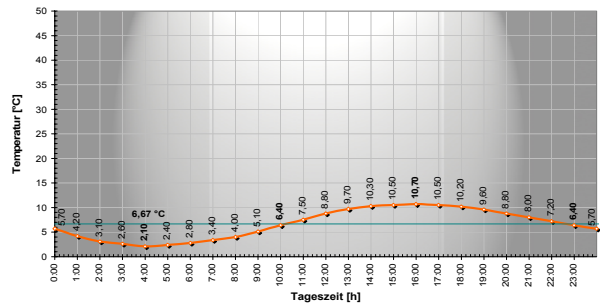
Abb. 3.10: Sonnenstanddiagramm für die Region Homs (Jabbour, 1984)

Tab. 3.08 und Abb. 3.11: Tägliche Sonneneinstrahlung auf einer horizontalen Fläche auf Meereshöhe in cal/cm^2 (Lippsmeier, 1980; Jabbour, 1984)

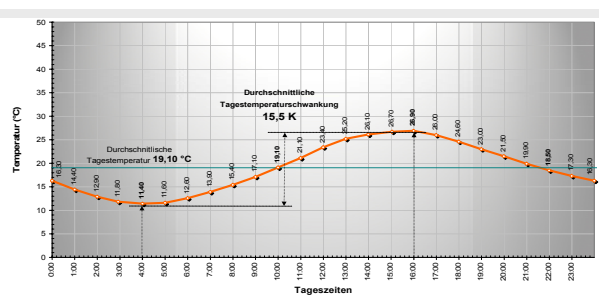
	0°	15°	30°	34° (Homs)	45°
Januar	589,5	505,3	389,3	358,4	273,5
Februar	615,6	563	484	447,5	347,3
März	652,5	621	589,3	555,6	463
April	636,7	678,8	694,5	669,3	600
Mai	621	694,5	757,8	745,2	710,5
Juni	584	705,3	773,5	766,5	747,3
Juli	589,3	694,5	763	754,6	731,5
August	626,3	684	747,3	724,8	663
September	631,5	652,5	600	581,7	531,5
Oktober	621	589,3	494,5	465,0	384
November	594,5	515,8	410,5	375,4	278,7
Dezember	584	463	357,8	322,8	226,3



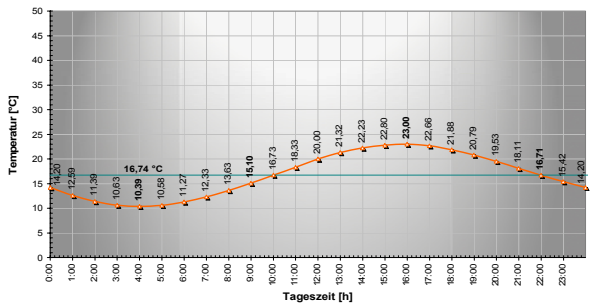
Tagesamplitude der Lufttemperatur der Stadt Homs und externer Tages in September



Tagesamplitude der Lufttemperatur der Stadt Homs - Januar



Tagesamplitude der Lufttemperatur der Stadt Homs - Oktober



Tagesamplitude der Lufttemperatur der Stadt Homs in Tages- und Jahresverlauf

Abb. 3.12: Tagesamplitude der Lufttemperatur der Region Homs im Tages- und Jahresverlauf

3.2.3 Wind und Luft

Die Beachtung der Luftbewegung ist ein weiterer wesentlicher Planungsfaktor, da sie die klimatischen Verhältnisse sowohl im Gebäude als auch in der gesamten Umgebung stark beeinflusst. Aus der spezifischen geographischen Lage von Homs erklärt sich der große Anteil der West- bis Südwestwinde in der Stadt, da Gebirge sowie Täler Richtungsänderungen bis zu 180° bewirken und die Geschwindigkeit herabsetzen können. Die angenehmen Westwinde müssen zur Durchlüftung der Grünflächen, der geöffneten Räume und Gebäude der Stadt genutzt werden. Gleichzeitig sind die vorherrschende große Windgeschwindigkeit und die Einstrahlung der Westsonne am Gebäude und Fenster zu berücksichtigen. Tabelle 1.10 (Zeilen 12.14) und Abbildung 3.13 geben Auskunft über vorherrschende Windrichtung sowie mittlere und maximale Windgeschwindigkeit in der Region Homs und zeigen auch die Windrose der syrischen Städte zum Vergleich.

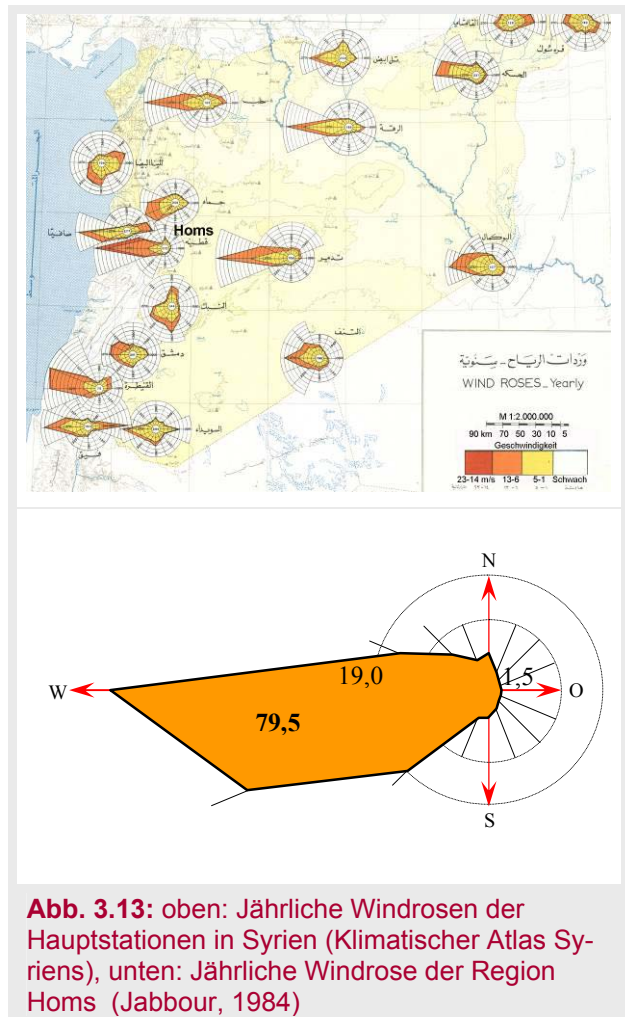


Abb. 3.13: oben: Jährliche Windrosen der Hauptstationen in Syrien (Klimatischer Atlas Syriens), unten: Jährliche Windrose der Region Homs (Jabbour, 1984)

3.2.4 Luftfeuchtigkeit und Niederschläge

Der Grad der Luftfeuchtigkeit ist für das Wohlbefinden von Menschen und Tieren von Bedeutung. Abbildung 3.14 macht Angaben über die vorherrschende mittlere relative Luftfeuchtigkeit sowie die ariden und humiden Monate in der Homs-Region deutlich. Daraus ist zu entnehmen, dass im Jahresverlauf ein einziges Niederschlagsmaximum im Januar aufgetreten ist; mit einer Menge am niederschlagsreichsten Tag von 39 mm (1963). Angaben über die Intensität des Regens sind hier nicht vorhanden, jedoch kann anhand von eigenen Beobachtungen gesagt werden, dass der Regen in Homs meist intensiv ist und dabei von starkem Wind begleitet wird. Die Regenabläufe sind häufig nicht in der Lage, das anfallende Niederschlagswasser aufzunehmen.

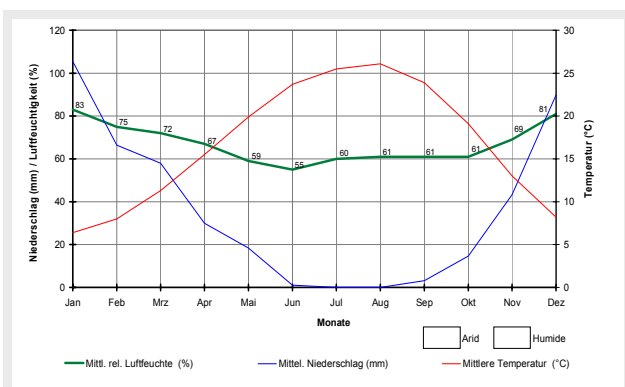


Abb. 3.14: Aride und humide Monate sowie die mittlere relative Luftfeuchtigkeit in Homs (dargestellt nach Tabelle 3.09)

Tab. 3.09: Charakteristische Klimawerte der Stadt Homs (Mittel Syrien)

Station: Homs, Lage: 34°44' N; 36°42' O; Höhe: 487 m ü.NN.

(Alex, 1985; Jabbour, 1984 ; klimatischer Atlas Syriens)

		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur														
Absol. min. Temp.	°C	-10	-7,0	-4,0	-1,0	5,5	8,5	14,0	11,0	6,0	1,3	-5,5	-6,8	1
Mittl. min. Temp.	°C	2,1	2,8	5,6	9,0	12,6	16,6	18,9	19,4	16,5	11,4	6,6	3,4	10,4
Mittlere Temperatur	°C	6,4	8,0	11,3	15,5	19,9	23,7	25,5	26,1	23,9	19,1	13,0	8,2	16,8
Mittl. max. Temp.	°C	10,7	13,2	17,0	22,0	27,2	30,8	32,0	32,9	31,2	26,9	19,4	13,0	23,0
Abso. max. Temp.	°C	19,5	23,0	28,0	34,5	39,0	40,5	40,2	42,0	40,0	36,0	30,5	24,5	33,1
Temperaturdifferenz	K	8,6	10,4	11,4	12,9	14,6	14,2	13,1	13,5	14,7	15,5	12,8	9,6	12,6
Sonnenschein														
Sonneneinstrahlung	Cal/cm ²	358	447	556	669	745	766	755	725	582	465	375	332	564
für Breitengrad 34° ¹⁾	J/cm ²	1501	1875	2328	2804	3122	3212	3162	3037	2437	1948	1573	1394	2366
	Wh/m ²	538	671	833	1004	1118	1150	1132	1092	873	698	563	484	846
Mit. tägl. Sonnenschein	Std./d	4,1	5,6	6,9	8,1	9,3	11,0	11,0	10,2	10,2	8,1	7,0	4,1	8,4
Durchschnittliche	Std./d	10,3	11,0	12,3	13,0	14,5	14,7	14,5	13,0	12,3	11,0	10,3	10,2	12,2
tägliche astronomisch mögliche Sonnenscheindauer ³⁾	von bis (Uhr)	6:52 17:08	6:30 17:30	5:50 18:10	5:30 18:30	4:45 19:15	4:40 19:20	4:45 19:15	5:30 18:30	5:50 18:10	6:30 17:30	6:52 17:08	6:55 17:05	
Astronom. mögl. Dauer	%	40	51	56	62	64	75	76	78	83	74	68	40	66,8
Wind														
Vorherrschende Windrichtung		West bis Südwest												
Mittl. Windgeschwindigkeit	m/s	3,8	5,9	5,7	5,4	5,0	6,1	7,9	6,9	4,7	3,2	3,4	3,3	5,1
Niederschlag														
Max. Niederschlag	mm	218	140	134	56	64	14	0	0	27	50	87	202	992
Mittel. Niederschlag	mm	105	66	58	30	18	1	0	0	3	14	43	90	430
Min. Niederschlag	mm	40	15	29	1	0	0	0	0	0	0	2	12	100
Max. Schneehöhe	cm	25	15	0	0	0	0	0	0	0	0	x	19	x
Feuchtigkeit														
Abs. max. Luftfechtig.	%	100	100	97	94	85	80	87	88	86	88	100	100	92
Mittl. Luftfeuchtigkeit	%	83	75	72	67	59	55	60	61	61	61	69	81	67
Abs. min. Luftfechtig.	%	66	50	47	40	32	30	33	34	36	34	38	45	40
Mittl. tägl. Verdunstung	mm	0,8	1,2	1,8	2,4	3,8	5,2	5,0	4,8	3,8	2,8	1,8	0,9	2,9

¹⁾ für Standort: Homs; ²⁾ Angabe der Beobachtungsstation des Kattina's Sees. Zeile 9-10: graphisch ermittelt anhand des Sonnenstanddiagramms**Tab. 3.10:** Stündliche und monatliche Temperaturwerte der Stadt Homs (bearb. n. Tab. 3.09)

Uhrzeit	Extremer Tag im Sep	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
0:00	18,0	5,7	6,3	9,0	13,5	17,0	20,2	21,7	22,8	20,2	16,3	11,0	6,7	14,2
1:00	18,5	4,2	5,00	7,80	11,4	15,1	18,7	20,4	21,0	18,7	14,4	9,5	4,9	12,5
2:00	15,4	3,1	4,0	6,8	10,0	13,6	17,6	19,4	19,8	17,6	12,9	8,1	3,8	11,4
3:00	14,8	2,6	3,1	6,0	9,3	12,8	16,8	18,9	19,1	16,8	11,8	7,1	3,2	10,6
4:00	15,0	2,1	2,8	5,6	9,0	12,6	16,6	18,9	19,4	16,5	11,4	6,6	3,4	10,4
5:00	15,4	2,4	2,9	5,2	9,2	12,9	16,7	19,5	19,8	16,6	11,6	6,7	3,5	10,4
6:00	16,5	2,8	3,3	5,8	9,9	13,6	17,6	20,3	20,5	17,3	12,6	7,4	4,1	11,3
7:00	17,7	3,4	4,0	6,8	11,5	14,8	19,0	21,4	21,6	18,6	13,9	8,4	4,9	12,3
8:00	19,4	4,0	5,2	8,2	12,4	16,3	20,4	22,7	22,9	20,3	15,4	9,9	5,9	13,6
9:00	21,1	5,1	6,6	9,7	13,9	18,0	22,0	24,0	24,4	22,0	17,1	11,3	7,10	15,1
10:00	24,0	6,4	8,0	11,3	15,5	19,9	23,7	25,6	26,1	23,9	19,1	13,0	8,20	16,7
11:00	28,0	7,5	9,4	12,8	17,0	22,0	25,5	27,1	27,8	25,8	21,1	14,5	9,40	18,3
12:00	32,0	8,8	10,7	14,2	18,5	24,2	27,4	29,1	29,4	27,8	23,4	16,0	10,5	20,0
13:00	35,4	9,7	11,8	15,2	19,8	25,8	28,9	30,5	30,6	29,4	25,2	17,4	11,5	21,3
14:00	38,0	10,3	12,6	16,1	20,8	26,6	30,0	31,4	31,8	30,4	26,1	18,4	12,2	22,2
15:00	39,4	10,5	13,1	16,8	21,6	27,0	30,7	31,9	32,5	30,9	26,7	19,2	12,7	22,8
16:00	40,0	10,7	13,2	17,0	21,9	27,2	30,8	32,0	32,9	31,2	26,9	19,4	13,0	23,0
17:00	39,0	10,5	12,8	16,8	21,6	26,6	30,5	31,9	32,6	31,0	26,0	18,9	12,7	22,7
18:00	37,0	10,2	12,1	16,2	20,9	25,3	29,6	31,4	31,9	30,3	25,0	17,8	12,2	21,9
19:00	34,7	9,6	11,1	15,3	20,0	24,0	28,3	30,2	30,8	29,1	23,0	16,6	11,5	20,8
20:00	32,0	8,8	10,1	14,3	18,6	22,7	26,8	28,8	29,5	27,5	21,5	15,2	10,5	19,5
21:00	28,5	8,0	9,0	13,1	17,0	21,2	25,3	27,0	27,8	25,8	19,9	14,0	9,24	18,1
22:00	25,0	7,2	7,9	11,8	15,4	19,8	23,7	25,2	26,2	24,0	18,5	12,8	8,05	16,7
23:00	22,0	6,4	7,0	10,4	14,3	18,4	22,0	23,5	24,6	22,1	17,3	11,8	7,20	15,4
Schwank.	25	8,6	10,4	11,4	12,9	14,6	14,2	13,1	13,5	14,7	15,5	12,8	9,60	12,6

KAPITEL

4

Bauliche Grundsätze für Rinderstallbauten

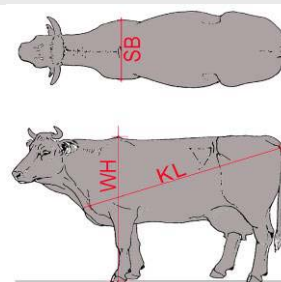
4.1 Körpermaße sowie Raum- und Flächenbedarf der Rinder

Die Körpermaße der Tiere sind für das landwirtschaftliche Bauen von Bedeutung. Davon hängen die Planungen für Haltungssysteme von Rindern ab, da sich daraus die Raumansprüche für Bewegungsabläufe wie Ablegen, Aufstehen und Fortbewegung ableiten.

Bei den Rinderrassen werden die Ansprüche der Kühe an den Stall und dessen Inneneinrichtungen weniger durch Rassenunterschiede, sondern mehr durch die Unterschiede innerhalb einer Rasse beeinflusst. Deshalb ist es zu empfehlen, die Abmessungen der Stalleinrichtungen nicht nach der Rasse, sondern nach den Körpermaßen der Rinder vorzunehmen. Für praktische Planungsarbeiten ohne Kenntnisse der Körpermaße der Kühe sind in der Tabelle 4.01 Standardmaße angeführt, die Sicherheitszuschläge für eher größere Tiere berücksichtigen. Bezugsgrößen sind: Widerristhöhe „WH“, Rumpflänge (schräg) „KL“ (Bugspitze bis Sitzbeinhöcker), Schulterbreite „SB“.

Tab. 4.01: Körpermaße von Kühen bei einer Standardkuh (CIGR-Standard 1993 [In: BARTUSSEK et al., 2008])

Gewicht [kg]	WH [cm]	KL [cm]	SB [cm]
550	135	161	50
650	139	169	55
750	142	175	60



Die Mindestabmessungen für Rindvieh (gemäß der Tierschutzverordnung, 1981) gelten für Tiere mit einer Widerristhöhe WH von $135 \text{ cm} \pm 5 \text{ cm}$. Für größere Tiere sind die Abmessungen entsprechend zu vergrößern; für kleinere Tiere dürfen sie angemessen reduziert werden. Einerseits weisen die derzeitigen Zuchtzielvorstellungen darauf hin, dass die Kuh der Zukunft für viele Betriebe größer sein wird als die heutige (BVET, 2005).

Die Dimensionierung der baulichen und technischen Anlagen mit einem Durchschnittsmaß für alle Tiere optimal zu gestalten ist nicht möglich. Durchschnittsmaße können zugrunde gelegt werden, wenn sie im Rahmen der funktionsbedingten Toleranzen für alle Tiere akzeptabel sind. Ansonsten muss die unterschiedliche Körpergröße der Tiere durch bauliche oder technische Anpassung der Stalleinrichtungen berücksichtigt werden (KRÄUSSLICH, 1981).

In der Abbildung 4.01 sind die Körpermaße einer Rinderrasse angegeben sowie im Anhang (1) in der Tabelle A1.1 (S. 234) sind die Höhen- und Längenmaße und z. T. auch die Lebendmasse von verschiedenen Rinderrassen zusammengestellt. Für die Tiere wird eine Einheit (abgekürzt GVE) für Tierlebendmasse benutzt. GVE entspricht 500 kg/Lg und wird in der Tabelle 4.02 für verschiedene Rinderarten angegeben.

Tab. 4.02: Tierlebendmasse in Großvieheinheiten für verschiedene Rinderarten

Rinderart	Tierlebendmasse [m], in GVE (500 kg)
Kühe und Rinder über 2 Jahre	1,2
Weibliche Jungrinder 1 bis 2 Jahre	0,6
Weibliche Jungrinder 7 Monate bis 1 Jahr	0,4
Aufzuchtkälber bis 6 Monate	0,19
Mastrinder 1 bis 2 Jahre	0,7
Mastrinder 7 Monate bis 1 Jahr	0,5
Mastkälber	0,3

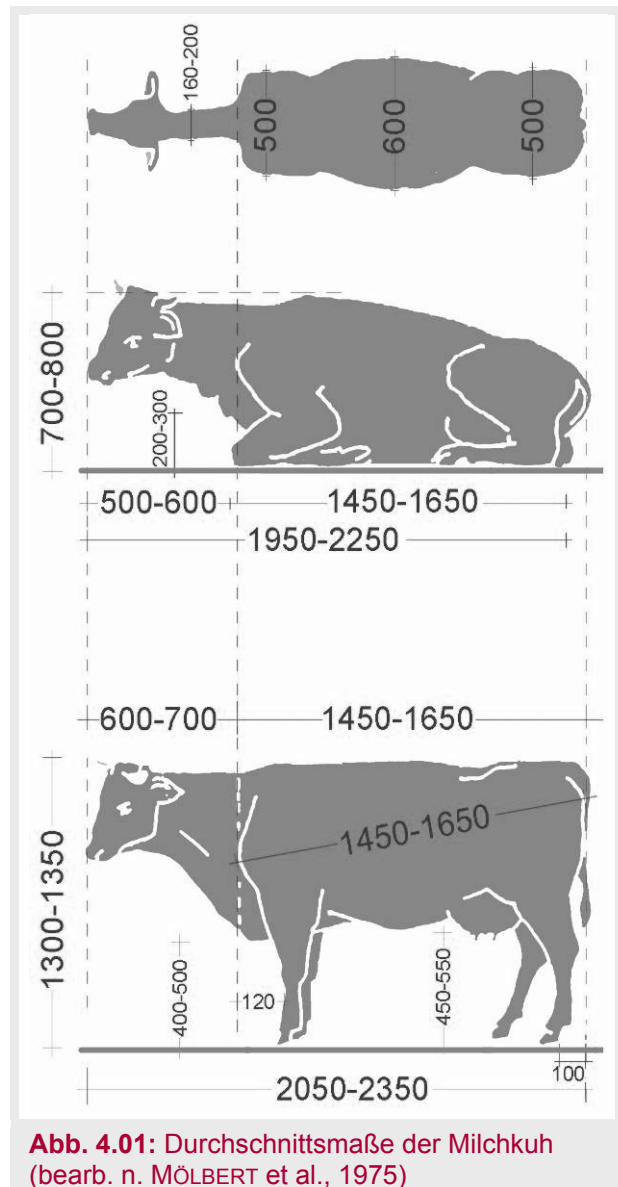


Abb. 4.01: Durchschnittsmaße der Milchkuh (bearb. n. MÖLBERT et al., 1975)

4.2 Bewegungsfläche

Durch Bewegungsflächen werden verschiedene Funktionsbereiche des Laufstalles - Fressplatz, Tränkeplatz, Liegefläche, Warteraum, Melkstand, Auslauf, Misten, Zugänge zu Weidfläche usw. verbunden. Diese Bereiche kann man in Bezug auf deren Funktion und unter Berücksichtigung der Fortbewegung der Tiere in fünf Gruppen einteilen. Vier betreffen die Gangbreiten (GB) und eine umfasst die Tür- bzw. Torbreiten (TB) (BARTUSSEK et al., 2008).

a) Einbahnwege sind vor allem zum und vom Melkstand sowie Triebwege. Die Gangbreite ergibt sich aus der maximalen Rumpfbreite zuzüglich eines Mindestspielraumes für die Bewegung.

$GB_a = 1,6 \times SB \text{ [m]}$ = Mindestmaß ist 0,8 m für Jungvieh und 0,85 m für Kühe.

Die Mindestanforderung an die Durchgangsbreiten erläutert die Abbildung 4.02, wobei A_{min} dem Wert GB_a entspricht. A, B und C werden mit folgenden Formeln berechnet:

$A + B = 3,6 \times SB$; $A + C = 3,9 \times SB$

Für eine 650-kg-Kuh nach Tabelle 4.01 mit 0,55 m Schulterbreite ergibt sich:

$GB_a = A_{\min} = 0,88 \text{ m}$; $B = 1,10 \text{ m}$ und $C = 1,27 \text{ m}$.

b) Laufgänge zwischen zwei Wänden oder Boxenreihen bzw. zwischen einer Wand und einer Boxenreihe und Quergänge zwischen parallelen Laufgängen:

$GB_b = 3,8 \times SB = \min. 2,00 \text{ m}$ für Kühe

c) Laufgänge mit Zusatzfunktion (Fütterung, Tränke) auf einer Seite:

$GB_c = KL + 2,7 \times SB = \min. 3,00 \text{ m}$ für Kühe ($KL = \text{Körperlänge}$)

d) Laufgänge mit Zusatzfunktionen auf beiden Gangseiten

$GB_d = 2 \times KL + 1,5 \times SB = \min. 4,00 \text{ m}$ für die Kühe.

Die Abbildung 4.03 verdeutlicht die drei verschiedenen Typen von Laufgängen, ohne und mit Zusatzfunktionen, mit den Breiten GB_b , GB_c und GB_d .

e) Türen und Tore sind Hindernisse im Bewegungsablauf. Die Breite für Tore ergibt sich aus der maximalen Rumpfbreite ($1,5 \times SB$) plus 10 cm Mindestabstand zum Nachbartier, vervielfacht um die Anzahl der Tiere (n), die nebeneinander durch die Öffnung gehen sollen:

$TB = n \times (1,5 \times SB + 0,1)$; $TB = \text{Torbreite}$; $n = 2, 3, 4 \dots$

Die Mindesthöhe von Laufgängen richtet sich in erster Linie nach den Erfordernissen des arbeitenden Menschen (bei Handarbeit mindestens 2,0 m hoch; sonst gemäß den Durchfahrtshöhen der vorgesehenen Maschinen).

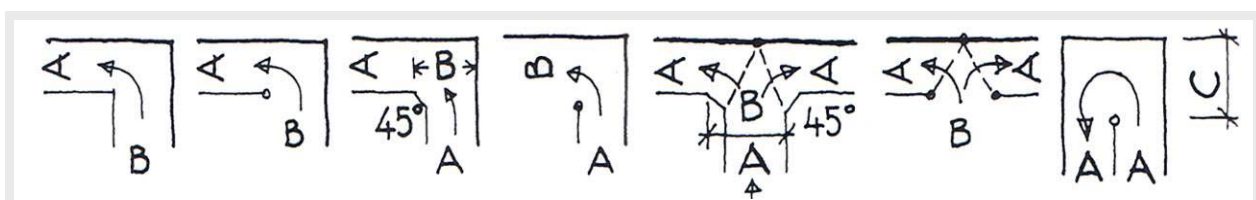


Abb. 4.02: Arten des Platzbedarfes bei Richtungsänderungen im Einbahnweg (BARTUSSEK et al., 2008)

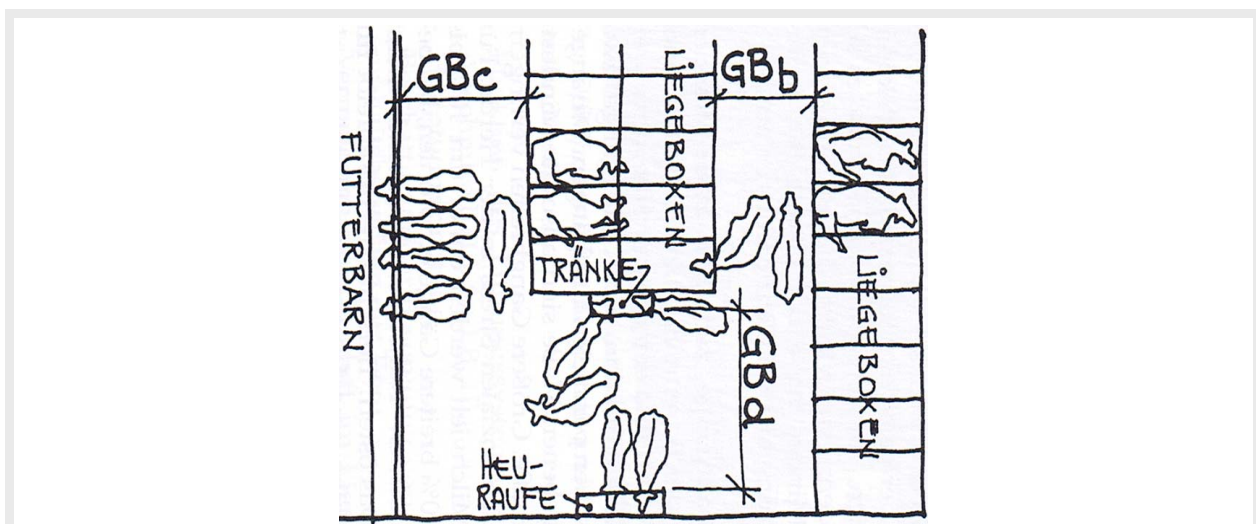


Abb. 4.03: Laufgänge zwischen Liegeboxen oder Wänden (BARTUSSEK et al., 2008)

4.3 Bauliche Maßnahmen und Grundsätze der Funktionsbereiche

4.3.1 Ruhen und Schlafen: Liegeboxen

4.3.1.1 Bauliche Maßnahme und Dimensionen

In Boxenlaufställen wird grundsätzlich zwischen Tief- und Hochboxen unterschieden.

- **Tiefboxen:** In der Tiefbox besteht der Bodenbelag aus einer kompakten Schicht aus einer verrotteten Mischung von Stroh und Mist. Der eingestreute Boxenboden befindet sich auf gleicher Ebene wie der Laufgang. Die Strohmattmatze ist eine spezielle Form der Tiefstreu für Liegeboxen. Sie kann aus 2 cm frischem Rinderkot, 15 cm nicht verrottetem Rindermist und 9 kg Stroh hacksel je Box aufgebaut werden. Damit die Liegeflächen für die Kühe ideal bleiben, müssen sie wöchentlich mit frischem Stroh hacksel eingestreut werden und in wiederkehrenden Abständen muss Rindermist nachgefüllt werden (KRÄUSSLICH, 1981; BVET, 2003). Als neueste Einstreuvariante gilt eine Mischung aus Stroh hackseln und kohlen-sau-rem Kalk (1:5) (AID, 2004).
- **Hochboxen:** Die Hochbox ist eine 20 - 25 cm höher als der Laufgang gelegene Box auf einer betonierten, mit max. 4 % Gefälle versehenen Fläche. Diese Fläche sollte mit einem Boxenbelag versehen werden (z.B. Gummi- oder Kunststoffmatten, zweilagigen Belägen usw.) (s. Anhang 1, Abb. A1.6 (S. 235)). Hochboxen sollten bei Verwendung von Gummi- oder anderen Matten mit kleinen Mengen Einstreu (meist Stroh hacksel bzw. Stroh-mehl) versehen werden, damit der Liegekomfort verbessert wird. Die Einstreu bindet einen Teil des anfallenden Kots und Harns und verhindert so teilweise die Verschmutzung der Tiere. Ohne Einstreu würde außerdem auf diesen Matten schnell eine schmierige Schicht entstehen, die deren Trittsicherheit beeinträchtigen würde (BVET, 2003).

Die Hoch- und Tiefboxen werden durch verschiedene Arten von Pilzbügeln getrennt. Beispiele für Liegeboxentrennbügel und Bodenbeläge befinden sich im Anhang (1) in den Abbildungen A1.7 und A1.8 (S. 235 - 236).

Die Liegeboxen können sowohl als wand- als auch als gegenständige Liegebox gestaltet sein. Wandständige Boxen benötigen aufgrund der vorderen Begrenzung durch die Wand im Kopfbereich mehr Platz als gegenständige Boxen.

Für die Bemessung der Standlänge muss bei Liegeboxen im Liegeboxenlaufstall und für Fressliegeboxen die Rumpflänge der Tiere als Maßstab dienen.

Die Definition der Boxenmaße und die Anforderungen an Liegeboxen in Laufställen ergeben sich aus den Mindestabmessungen, welche in der folgenden Tabelle 4.03 und 4.04 sowie im Anhang (1) in den Tabellen A1.02 bis A1.04 (S. 234 - 235) aufgeführt sind.

Tab. 4.03: Berechnung und Definition der Boxenmaße für bequeme Liegeboxen für 600 und 700 kg schwere Kühe (WST = wandständige Liegeboxen, GST = gegenständige Liegeboxen) (BARTUSSEK et al., 2008; BARTUSSEK, 1996)

Abmessung [cm]	Symbol	Berechnung	„Normkuh“ mit 650 [kg]	Definition der Boxenmaße																															
Liegelänge	LL	0,92 x KL +21	176																																
Kopfraum 1	KR1	0,32 x WH	44																																
Kopfraum 2	KR2	0,56 x WH	74																																
Seitlicher Freiraum 1	FR1	0,32 x WH	44																																
Seitlicher Freiraum 2	FR2	0,28 x WH	39																																
Boxenlänge 1	BL1	LL + KR1	220																																
Boxenlänge 2	BL2	LL + KR2	250																																
Hochboxen ohne Strohmatratze	BH	0,8 x WH	111																																
Boxenhöhe	BH	0,85 x WH	118																																
Stirnriegelhöhe	SH	0,55 x WH	76																																
Boxenbreite (Achismaß)		0,86 x WH	120	<table><tr><th rowspan="2">Gewicht</th><th colspan="2">Boxenlänge</th><th rowspan="2">Boxen- höhe</th><th rowspan="2">Kopf- raum</th><th rowspan="2">Nacken- riegel</th></tr><tr><th>WST</th><th>GST</th></tr><tr><th>[kg]</th><th colspan="2">L [cm]</th><th>H [cm]</th><th>KR [cm]</th><th>NR [cm]</th></tr><tr><td>600</td><td>256</td><td>221</td><td>116</td><td>41</td><td>165</td></tr><tr><td>700</td><td>262</td><td>227</td><td>117</td><td>41</td><td>170</td></tr></table>						Gewicht	Boxenlänge		Boxen- höhe	Kopf- raum	Nacken- riegel	WST	GST	[kg]	L [cm]		H [cm]	KR [cm]	NR [cm]	600	256	221	116	41	165	700	262	227	117	41	170
Gewicht	Boxenlänge		Boxen- höhe	Kopf- raum	Nacken- riegel																														
	WST	GST																																	
[kg]	L [cm]		H [cm]	KR [cm]	NR [cm]																														
600	256	221	116	41	165																														
700	262	227	117	41	170																														

Tab. 4.04: Empfehlungen zu den Stallabmessungen an Aufstallungssystemen (Entscheidungsgrundlagen für Stallbauten)

¹⁾ AMMANN et al., 2002; ²⁾ BVET, 2005; ³⁾ Heller, 2003; ⁴⁾ FÜRCHUSS et al., 2004; ⁵⁾ VO-EG 1804-1999; ⁶⁾ BARTUSSEK, 2000; ⁷⁾ Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf, 2008.

Widerristhöhe	cm	120-130	130-140	140-150	135±5	
Lebendgewicht	kg	ca. 550	ca. 650	ca. 750		
Großviehplatz (Bau)	GVP	1,0	1,0	1,0		
Fressplatzbreite	cm	65 ^{1,2,3)}	72 ^{1,2,3)}	78 ^{1,2)} -80 ³⁾	0,8-0,9 ⁴⁾	75 ^{5,7)}
Fressplatztiefe	cm	290 ^{1,2,3)}	320 ^{1,2,3)}	330 ^{1,2,3)}	400-430 ⁴⁾	350 ⁷⁾
Laufgang hinter Boxenreihe	cm	220 ^{1,2,3)}	240 ^{1,2,3)}	260 ^{1,2,3)}		
Warteplatzfläche	m ²	1,6 ^{1,2)}	1,8 ^{1,2)}	2,0 ^{1,2)}		
Liegefläche						
- Einstreut	m ²	4,0 ^{1,2)}	4,5 ^{1,2)}	5,0 ^{1,2)}		
- vollperforierte Böden	m ²	-	-	-		
- max. Spaltenbreite	mm	35 ¹⁾				
Liegeboxen						
- Boxenbreite	cm	110 ^{1,2,3)}	120 ^{1,2,3)}	125 ^{1,2,3)}	*)	120-125 ⁵⁾ , 125-130 ⁷⁾
- Boxenlänge: wandständig	cm	230 ^{1,2,3)}	240 ^{1,2)} -250 ³⁾	260 ^{1,2,3)}	285 ⁴⁾	270 ⁵⁾ , 240-280 ⁷⁾
gegenständig	cm	200 ^{1,2,3)}	220 ^{1,2,3)}	235 ^{1,2,3)}		250 ⁵⁾
Laufhof:						
-Gesamtfläche		10 ^{1,3)}			12-15 ⁴⁾	4,5 ^{5,6)} , 5 ⁷⁾
- davon nicht überdacht		2,5 ¹⁾				
Stallraum						6 ^{5,6)}
Tier-Fressplatz-Verhältnis						1:1 ⁷⁾
Tier-Liegeplatz-Verhältnis						1:1 ⁷⁾
Liegefläche, eingestreut ohne Boxen			4,5 ⁷⁾		7 ⁴⁾	
Kopfraum					80-100 ⁴⁾	
Laufgang z. Liegeboxen					300-400 ⁴⁾	

**) 0,9 x Widerristhöhe von 25 % der größten Tiere einer Herde

4.3.1.2 Grundsätze und Empfehlungen

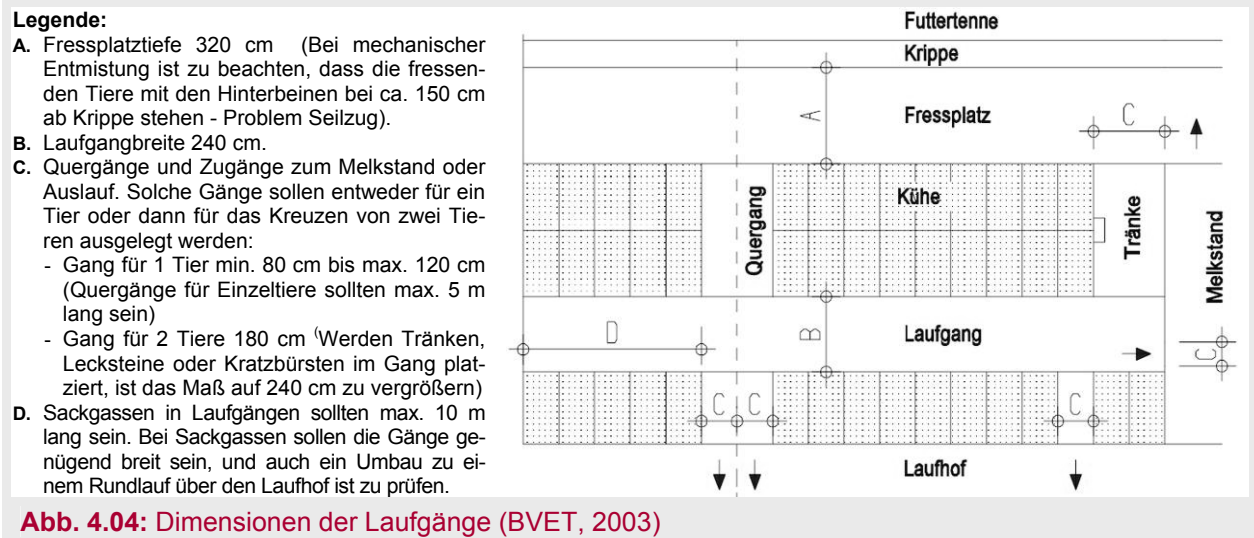
Bauliche Ansprüche für Stallböden im Liegebereich werden wie folgt erfüllt:

- Die Boxen müssen so gestaltet sein, dass die Tiere artgemäß abliegen, ruhen und aufstehen können (BVET, 2003).
- Werden Liegeboxen durch Tiere unterschiedlicher Größe benutzt, so müssen die Boxen den Platzansprüchen der größten Tiere genügen (BVET, 2003). Die Rinder müssen die Boxen leicht betreten und verlassen und darin ohne Störungen und Schäden abliegen und aufstehen können (BARTUSSEK et al., 2008).
- Anzahl der Liegeboxen darf nicht niedriger sein als die gehaltenen Rinder im Stall.
- Die Liegeflächen der Tiere müssen so gestaltet sein, dass alle Tiere gleichzeitig und ungehindert liegen können.
- Der Liegebereich dient im Stall als intensiv genutzter Aufenthaltsbereich der Tiere, weshalb der Boden für das Wohlbefinden und die Leistung der Tiere von Bedeutung ist.
- Der Fußboden im Liegebereich darf den Tieren nicht zu viel Wärme entziehen. Er soll aber andererseits genug Wärme ableiten können, um einen Wärmestau zu vermeiden.
- Der Fußboden muss ausreichend tragfähig und zum Schutz gegen Ausgleiten bei Abliegen und Aufstehen ausreichend griffig sein (KRÄUSSLICH, 1981).
- Die Oberfläche des Fußbodens soll ein bequemer, sauberer, haut- und gliedmaßenscho- nender, verformbarer, gleitsicherer, weicher und trockener Platz für die Tiere sein (BARTUSSEK et al., 2008; FÜRSCHUSS et al., 2004).
- Bei einstreulosen Haltungsformen werden die Ansprüche an die Konstruktion der Liegefläche höher, weil die „ausgleichende“ Wirkung der Einstreuschicht wegfällt und der Fußboden die Funktion der Streu zusätzlich übernehmen muss (KRÄUSSLICH, 1981). Deshalb müssen die Hochboxen mit einem elastischen Belag ausgelegt werden, der in ökologischer Landwirtschaft in jedem Fall weich genug und mit einer Schicht Einstreu versehen sein muss (GÖT, 2003).
- Bei Tiefboxen mit Einstreu können mit einfachen Fußbodenkonstruktionen die Anforderungen nahezu vollkommen erfüllt werden. Die Liegelängenfläche ist um 15 - 20 cm länger als in Hochboxen (GÖT, 2003), da diese mit einer Streuschwelle versehen ist.
- Der Boden der Hochboxen soll mit 2 - 4 % zum Laufgang hin verlegt sein. Die Tiere legen sich lieber leicht bergauf ab und eventuell anfallender Harn läuft besser ab. Dazu sollte bei den Tiefboxen die Kotkante mit ausreichenden Durchlässen versehen oder am besten durch Abstandhalter abgehoben verlegt werden. Auch in Hochboxen sind die Euterbereiche leichter zu reinigen und bleiben trockener (BARTUSSEK et al., 2008).

4.3.2 Laufen

4.3.2.1 Bauliche Maßnahmen und Dimensionen

Nach der Richtlinie für Haltung von Rindvieh wurden Abmessungen für Laufgänge in verschiedenen Möglichkeiten zusammengefasst. In der Abbildung 4.04 wird ein Teil des Milchviehstalles mit den Dimensionen der Laufgänge dargestellt.



Die tiergerechte Gestaltung von Laufflächen gewinnt an Bedeutung. Weniger Klauenerkrankungen sowie mehr Komfort beim Stehen und Gehen sind die Folge. Dazu muss die Oberfläche der Böden konsequent auf die Anforderungen der Klauen ausgerichtet sein. Bei Bewegungsflächen können tierangepasste, planbefestigte Fußböden oder Spaltenböden mit tiergerechten Funktionsmaßen Verwendung finden.

■ Planbefestigte Böden aus Beton

Betonflächen sind mit ausreichender Festigkeit herzustellen (B25; mind. 280 kg Zement pro m³ Fertigbeton bei Korngröße 32 mm, bei kleinerer Korngröße bis 20 % mehr Zement, mind. 10 cm dick; bei Befahrbarkeit mind. 15 cm dick).

Die Behandlung der Oberfläche des Betons kann in drei Profilen ausgeführt werden. Das beste Profil hat 1 cm breite und mindestens 6 mm tiefe Rillen im Bienenwabenmuster, wobei die Seitenlänge eines Sechsecks 46 mm beträgt. Die zweitbeste Profilierung ist als parallele Anordnung solcher Rillen mit einem Achsabstand von 4 cm. Die Hauptbewegungsrichtung verläuft im rechten Winkel zu den Rillen. Die drittbeste Lösung entspricht dem vorgenannten Profil, doch verläuft die Bewegungsrichtung parallel zu den Rillen (BARTUSSEK et al., 2008).

Die Beläge und Beschichtungen können durch verschiedene Methoden angewendet werden. Es gibt dafür: Gummibeläge, Gussasphalt-Beläge, Zweischicht-Straßenasphaltböden und Beschichtungen aus Epoxitharz. Diese Beschichtung (Zweikomponentenharze) mit Sandeinschluss auf sauberem Beton ergeben dauerhafte, rutschsichere und gut zu reinigende Böden. Gummiierte Spaltenböden erfüllen weitgehend die Ansprüche der Rinder auf eine weiche Lauffläche, sind aber wesentlich teurer (BARTUSSEK et al., 2008).

■ Spaltenböden

Es werden Spaltenböden aus Zwillingspalten und Flächenelemente mit parallelen oder diagonalen Schlitzten angeboten. Flächenelemente vereinfachen die Verlegearbeiten gegenüber Zwillingsbalken erheblich. Bei Auswahl von Spaltenböden ist hinsichtlich der Balken- bzw. Flächenelementlängen darauf zu achten, dass keine ungünstige Klauenbelastung auftritt.

Zu bevorzugen sind jedoch ausreichend breite Flächenelemente, um die Gefahr von Niveauunterschieden zwischen einzelnen Elementen zu minimieren.

Für perforierte Böden gilt, dass die Breite der Spalten für die Größe der Tiere geeignet und konstant sein muss. Die Kanten der Spalten und Löcher müssen rutschsicher, frei von Graten und abgeschliffen sein (BVET, 2003). In der Tabelle 4.05 sind die Spaltenweiten genannt, die nicht überschritten werden dürfen.

Tab. 4.05: Maximale Spaltenbreiten für Betonspaltenböden (BVET, 2003; *)THVO, 2004)

	Spaltenweite bei geraden oder gewellten Schlitzten
Jungtiere bis 200 kg	30 mm (25mm)*
Rinder, Masttiere über 200 kg	35 mm
Milchvieh	35 mm (30mm)*

4.3.2.2 Grundsätze und Empfehlungen

- In den Laufställen müssen die Laufgänge in der Liegehalle so angelegt sein, dass die Tiere einander ausweichen können. Für Milchkühe erfordert dies in der Regel eine Laufgangbreite von mindestens 240 cm (BVET, 2003).
- Bei einer Fütterung im Stall soll der Fresslaufgang nicht weniger als 350 cm betragen, damit ein ungestörter Tierverkehr am Fressplatz möglich ist und die Futteraufnahme nur wenigen Störeinflüssen ausgesetzt ist (FÜRSCHUSS et al., 2004; THVO, 2004).
- Es dürfen keine Sackgassen entstehen.
- Es muss nach jeweils 10 Liegeboxen ein Quergang vorhanden sein.
- Die Auftrittsbreite sollte 80 mm betragen (THVO, 2004); die Schlitzweite sollte 25 – 30 mm betragen.
- Der Fußboden muss rutschfeste Oberflächenstruktur, keine scharfen Kanten und Grate haben, planeben ohne Mulden sein, verformbare Oberfläche haben, hohe Sauberkeit, reinigungsfreundlich, kostengünstig und dauerhaft sein (STEINER und VAN CAENEGEM, 2003; THVO, 2004).
- Für eine dauerhafte Rutschfestigkeit sollte der Boden in allen Laufbereichen gut aufgeraut sein (VO-EG 1804-1999).
- Spaltenböden müssen der Größe und dem Gewicht der Tiere angepasst sein.
- Spaltenböden müssen plan und die einzelnen Elemente unverschiebbar verlegt sein (BVET, 2003).
- Der Höhenunterschied der Auftrittsflächen darf bei Spaltenbodenelementen nicht mehr als 3 mm betragen. Die Auflagertiefe muss bei Spaltenbodenrosten mind. 10 cm betragen.
- Die Auftrittsfläche von Betonspaltenböden muss eben und gratfrei, die Kanten müssen gebrochen sein.

4.3.3 Fressen: Futterbereich

4.3.3.1 Bauliche Maßnahmen und Dimensionen

Es gibt zur Fütterung der Rinder zwei Grundvarianten: Grund- und Krafffutter. Grundfutter wird am Futtertisch vor dem befestigten Fressplatz den Tieren vorgelegt. Das Leistungsfutter wird über Krafffutter-Automaten zugeteilt. Für das Krafffutter stehen bei Herden über 25 Tieren eine oder mehrere Abrufstationen zur Verfügung (REIMANN und REDELBERGER, 2004).

Dem artgemäßen Futteraufnahmeverhalten der Rinder sind Futterkrippe, Fressgitter und Futtertisch im Laufstall entsprechend zu gestalten. Sie müssen die Aufnahme großer Grundfuttermassen und damit große Reichweiten nach vorne ermöglichen; auch sollen das gegenseitige Verdrängen eingeschränkt und Futterverluste verhindert werden und es darf zu keinen Verletzungen der Tiere kommen (BARTUSSEK et al., 2008).

■ Futterkrippe

Rinder besitzen keine Lippen und keine Schneidezähne im Oberkiefer. Diese anatomischen Eigenschaften erschweren den Tieren die Futteraufnahme im Stall. Aus diesem Grund werden bei der Stallfütterung des Rindviehs zur Erleichterung des Fressvorganges und der Futtervorlage Krippen oder eine muldenförmige Ausbildung des Futtertisches bevorzugt (BUDDE, 1985).

Die Ansprüche an den Fressbereich leiten sich vom natürlichen Fressverhalten des Rindes ab. Da die beim frei laufenden Rind typische Fresshaltung in der technischen Umwelt des Stalles nicht beibehalten werden kann, muss durch geeignete Gestaltung des Fressplatzes dafür gesorgt werden, dass eine ungestörte und bequeme Futteraufnahme auch bei den hier eingeschränkten Bewegungsräumen möglich ist (KRÄUSSLICH, 1981).

Mit einer Höhe von ca. 20 cm der Krippensohle über die Standfläche ist ein annehmbarer Kompromiss zwischen den Ansprüchen der Tiere und der Forderung nach ausreichendem Fassungsvermögen gefunden. Die Reichweite der Tiere mit 1,10 m in der Höhe und 60 - 80 cm nach links und rechts sind zu berücksichtigen. Die seitliche Reichweite ist also groß genug, um auch den Nachbarfressplatz erreichen zu können. (Abb. 4.05, 4.06 und Tab. 4.06) (KRÄUSSLICH, 1981; Handbuch, 2001).

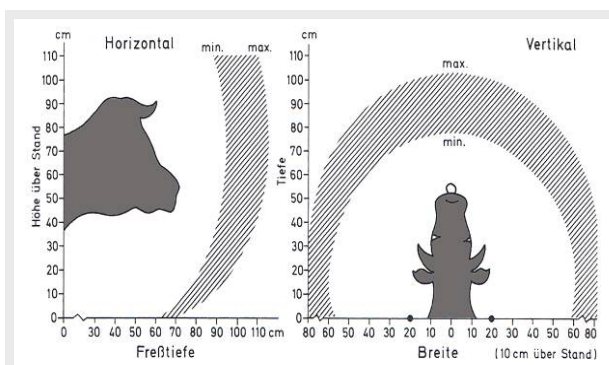


Abb. 4.05: Fressbereich des Rindes (SCHÖN, 1969; RIST u. OLIVER, 1971; METZNER, 1976)

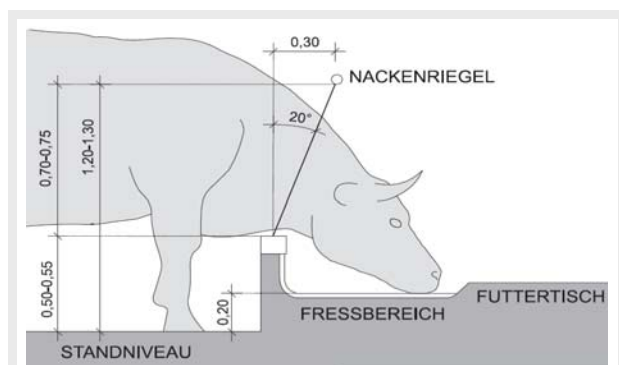


Abb. 4.06: Ausbildung von Krippe und Fressgitter (FÜRSCHUSS, 2004)

Tab. 4.06: Krippengestaltung im Laufstall und Empfehlung für Abmessungen (ART, 2006)

Tiermasse [kg]	Empfehlung für Abmessungen [cm]					Krippengestaltung im Laufstall
	A	B*	C	D	E	
Jungtiere						<p>Querschnitt</p>
bis 200	min. 15-20	40	bis 15	0-30	40	
bis 300	min. 15-20	45	bis 15	0-30	50	
bis 400	min. 15-20	50	bis 15	0-30	55	
über 200	min. 15-20	55	bis 15	0-30	60	
Milchvieh	min. 15-20	50-70	bis 15	0-30	60-80	

*) B = Gesamthöhe inkl. evtl. Rohr bei Selbstfangfressgitter. Rohr ca. 5 - 7 cm

Futterkrippen bzw. Krippenschalen werden in neu gebauten Ställen häufig als Flachkrippen ausgeführt (Handbuch, 2001). Eine Krippenschale wird heute aus Kostengründen meistens nicht empfohlen.

Die Baumaterialien der Futterkrippe sollen nicht von den Futtersäuren angegriffen werden können. Beton wird von Futtersäuren (Silagen) chemisch angegriffen und mechanisch stark beansprucht. Futterkrippen sollten daher mit widerstandsfähigen Materialien (keramische Bodenfliesen, Polyesterbeton) ausgekleidet, mit lebensmittelechten Schutzanstrichen versehen oder mit Gussasphalt belegt werden. Bei ausschließlicher Verwendung von Beton sollte zumindest ein B 30 verwendet werden, dessen Oberfläche mit 4 kg/m² Quarzmehl mit Feinschliff nach dem Abbinden geglättet wird (BARTUSSEK et al., 2008).

■ Fressgitter

In Laufstallsystemen, in denen der Fressbereich nicht mit dem Liegeplatz kombiniert ist, sind besondere Hilfsmittel erforderlich, um den Tieren ungestörte Futteraufnahme zu gewähren, um Futterverluste und Verstreuen des Futters auf die Lauffläche zu verhindern und auch um bei Bedarf die Tiere fixieren zu können (KRÄUSSLICH, 1981).

Das Fressgitter soll um 20° zur Krippe hin geneigt sein. Die Gitterneigung bewirkt einen Freiraum für die gegenüber der Klauenspitze vorstehenden Buggelenke, was zu einer zusätzlichen Fixiereinrichtungen verwendet wird. Bei langen Fresszeiten erübrigt sich jedoch erfahrungsgemäß ein Einsperren der Tiere am Fressplatz aus Konkurrenzgründen (s. Abb. 4.06) (FÜRSCHUSS, 2004).

Es gibt verschiedene Typen von Fressgittern: Palisadenfressgitter, Schwalbenschwanzfressgitter und Selbstfangfressgitter. Das bekannteste Fressgitter ist das Selbstfangfressgitter (Abb. 4.07). Seine Vorteile sind: a.) Mann kann die Kühe darin aus fütterungstechnischen Gründen vorübergehend fixieren; b.) Einzelne Kühe können für Besamung oder Inspektion eingesperrt werden; c.) Futterverluste werden verringert (BARTUSSEK et al., 2008)

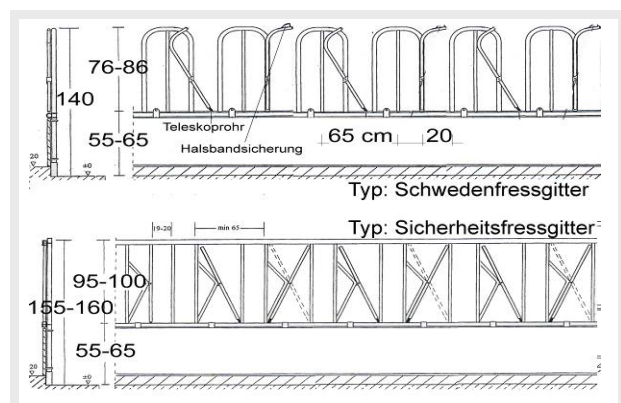


Abb. 4.07: Selbstfangfressgitter (MÜSCH und PELZER, 1998)

■ Fressplatzbreite

Im Laufstallsystem stehen die Rinder relativ dicht am Fressplatz, daher muss für jedes Tier ein ausreichend breiter Fressplatz vorhanden sein. In Abhängigkeit von der Tiergröße ist eine Fressplatzbreite von 0,7 bis 0,9 m je Tier erforderlich (FÜRSCHUSS et al., 2004). Die Mindestmaße der Fressplatzbreite für unterschiedliche Tiergewichte befinden sich in der Tabelle 4.07. Für Kühe mit einer Widerristhöhe von 135 cm + 5 cm ist eine Fressplatzbreite von mindestens 72 cm erforderlich (BVET, 2003). Nach BARTUSSEK et al., (2008) wurde die erforderliche Fressplatzbreite pro Einzeltier (FB) gemäß nachfolgenden Formeln (a bis e) in der Tabelle 4.08 ermittelt, wobei von der Schulterbreite (SB) der Tiere als Grundmaß ausgegangen wird.

In der Tabelle 4.09 ist das Tier-Fressplatz-Verhältnis (TFV) sowie der Flächenbedarf pro Tier nach der Reihenzahl der Liegeboxen eingegeben.

Tab. 4.07: Mindestmaße der Fressplatzbreite für durchschnittliche Tiergewichte (THVO, 2004)

Durchschnittliches Tiergewicht	Fressplatzbreite (FB)	Durchschnittliches Tiergewicht	Fressplatzbreite
[kg]	[cm/Tier]	[kg]	[cm/Tier]
bis 150	40	bis 500	60
bis 220	45	bis 650	65
bis 350	55	über 650	75

Tab. 4.08: Fressplatzbreite gemäß den Formeln für Kühe (BARTUSSEK et al., 2008)

Gewicht [kg]	Fressplatzbreite FB [cm]				
	(a)	(b)	€	(d)	€
	FB = 1,33 x SB	FB = 1,5 x SB	FB = 1,10 x SB	FB = 0,55 x SB	FB = 0,6 x SB
550	67	75	55	28	30
650	73	83	61	30	33
750	80	90	66	33	36

(a) restriktive Fütterung, (b) restriktive Fütterung, großer Anteil hochträchtiger Kühe bei saisonal gehäuftten Abkalbungen, (c) semi-restriktive Fütterung in größeren Herden, (d) ad libitum Fütterung in größeren Herden, € ad lib., großer Anteil hochträchtiger Kühe

Tab. 4.09: Tier-Fressplatz-Verhältnis (TFV) und Flächenangaben verschiedener Liegeboxenaufstallungsvarianten (SMUL, 2008)

Liegeboxenaufstall	TFV	Aktionsfläche [m ² /Tier]	Emittierende Fläche [m ² /Tier]
einreihig	0,6 : 1	6,0 – 6,6	3,0 – 3,6
zweireihig	1 : 1	6,5 – 7,0	3,5 – 4,0
dreireihig	1,8 : 1	5,0 – 5,5	2,5 – 3,0
vierreihig	2,5 : 1	5,5 – 6,0	3,0 – 3,5
Querreihen	1 : 1 – 2 : 1	5,5 – 6,0	3,0 – 3,5

■ Futtertisch

Bei Neuplanungen in der Rinderhaltung sollte ein befahrbarer Futtertisch vorgesehen werden. Ausführung und Breite des Futtertisches muss je nach Beschickungsgerät berücksichtigt werden. Wenn Transportfahrzeuge der Außenwirtschaft (Ladewagen, Stallmiststreuer) eingesetzt werden, muss der Futtertisch mindestens 3,5 m breit sein. Beim Einsatz des Frontladers oder spezieller Stallschlepper genügen 2,00 m Fahrbreite. Üblich sind aber ca. 5 m incl. Krippen, wenn beim Futterverteilen mit dem Futtermischwagen das Futter für einen ganzen Tag in der Krippe abgelegt wird (durchführbarer Futtertisch, auf beiden Seiten Fressplätze). Ein breiter Futtertisch ist auch notwendig, wenn dort für mehrere Tage Futter gelagert werden soll (z. B. Siloblöcke auf Vorrat) (Handbuch, 2001). Aus Gründen der Säurefestigkeit wird die Betonplatte des Futtertisches häufig mit Klinkerplatten (24 mm) oder ähnlichem Material ausgelegt (DAMM, 1993).

■ Kraftfutterstationen

Kraftfutterstationen mit elektronisch gesteuerter Einzeltiererkennung müssen so angeordnet werden, dass genügend Ausweichraum im Bereich des Stationseinganges vorhanden ist. Der seitliche Abstand zu Begrenzungen auf beiden Seiten der Station sollte mindestens der Gangbreite GBb und die Tiefe direkt vor der Station der Gangbreite GBc entsprechen (BARTUSSEK et al., 2008) (s. Abb. 4.03). Kraftfutterstationen müssen während des Melkens automatisch geschlossen und mit einer Hecktür ausgestattet sein (VO-EG 1804-1999).

4.3.3.2 Grundsätze und Empfehlungen

- Tiere sind regelmäßig und ausreichend mit geeignetem Futter und mit Wasser zu versorgen. Bei Gruppenhaltung muss dafür gesorgt werden, dass jedes Tier genügend Futter und Wasser erhält. In Laufställen ist sicherzustellen, dass jedes einzelne Rind ausreichend Nahrung aufnehmen kann (BVET, 2003; THVO, 2004).
- Weil die Tiere einer Gruppe gemeinsam fressen, muss das Tier-Fressplatz-Verhältnis (TFV) daher 1:1 betragen (VO-EG 1804-1999; FÜRSCHUSS et al., 2004).
- Die Futterbarnsohle muss mindestens ca. 20 cm über dem Standniveau liegen (THVO, 2004).
- Der Fütterungsbereich und Futterkrippen müssen sich leicht säubern lassen und sollten eine hohe Dauerhaftigkeit gegen chemische Einwirkungen durch Gärsäuren der Futtermittel und durch Speichel aufweisen (BUDDE, 1985).
- Die Krippenwand wird in den meisten Fällen aufgemauert oder betoniert. Eine Abdeckung ist möglich. Der Unterbau von Krippen besteht hauptsächlich aus Beton B15 auf Kiesrollierung. Die Platten und Schalen werden in Zementmörtel verlegt. Als Verlege- und Fugmörtel ist ein säurebeständiges Bindemittel zu wählen. Dabei sind die Werksvorschriften sorgfältig zu beachten (BUDDE, 1985).
- Fütterungsbereich und Krippenausstattung: Für die Vorlage von Raufutter bzw. Grundfutter sind Krippen ausreichender Größen vorzusehen. Dabei sollte das Krippenvolumen so bemessen werden, dass es möglichst die Futtermenge für eine halbe Tagesration fasst (BUDDE, 1985).
- Vermeidung größerer Futterreste, regelmäßige Entfernung der Futterreste aus dem Stall, verdorbenes Futter und Futterreste dürfen nicht offen gelagert werden (WANKA, 2003).
- Nach MEHLER und Heinig (1968) muss das Futter nach folgenden Maßstäben gelagert werden:
 - Das Krafffutter lagert in zentralen Futtermittelspeichern. Am Stall sollte nur Platz für eine geringe Menge, etwa für den Wochenbedarf, vorgesehen werden. Für den Wochenbedarf reicht in einem mittleren Stall mit 100 Kühen ein verschließbarer Raum mit einer Lagerfläche von 10 – 15 m².
 - Der Standort für Gärfuttersilos ist so zu wählen, dass die Silos ohne Schwierigkeiten beschickt werden können, da innerhalb kurzer Zeit große Mengen von Grünfutter zu silieren sind. Milchräume und Wohnhäuser sollen nicht in der Hauptwindrichtung der Gärfutterbehälter liegen. Der unmittelbare Einbau von Silos in Stallgebäude ist daher ebenfalls abzulehnen.
 - Massive Flachsilos werden allgemein auf einem zentralen befestigten Siloplatz auf der windabgekehrten Seite der Stallanlage angeordnet.
 - Hochsilos stehen zum Teil am Stall, damit das Futter durch stationäre Fördereinrichtungen direkt zur Krippe gefördert werden kann.
- Nach JAKOB und VAN CAENEGEM (1993) müssen bei Flachsilos folgende Punkte berücksichtigt werden:
 - Damit gleichzeitig abgeladen und gewalzt werden kann, müssen die Flachsilos am Boden mindestens 5 m breit sein.
 - Pro m³ Ladewageneinheit ist mindestens 1 m Silolänge notwendig.
 - Folglich umfasst die kleinste Flachsiloeinheit 20 – 22 m Länge, 5,5 m Breite und 1,3 bis 1,5 m Höhe. Dies ergibt beim System Traunstein einen Siloinhalt von 120-140 m³.

- Pro Tag sollte mindestens 10 cm entnommen werden (70 cm pro Woche) oder zirka eine Blockschneidertiefe.
- 0,5 m² Anschnittfläche pro GVE darf nicht überschritten werden.

4.3.4 Trinken: Trinktröge und Becken

4.3.4.1 Bauliche Maßnahmen und Dimensionen

Die Versorgung mit gutem Trinkwasser in ausreichender Menge ist für die Leistung und das Wohlbefinden der Tiere ausschlaggebend. Dazu sind Wasserversorgungseinrichtungen nötig. Die Kühe trinken je nach Milchleistung und Trockenmasse-Gehalt des Futters täglich ca. 50 – 75 Liter (FÜRSCHUSS et al., 2004). Trinkgeschwindigkeit und –häufigkeit liegen ebenfalls innerhalb großer Spannweiten, wobei neben den oben erwähnten Einflüssen noch die Tränketchnik ausschlaggebend ist. Beim natürlichen Saugtrinken wird das Flotzmaul 3 – 4 cm mit schräg gestelltem Kopf (etwa 60° zur Waagrechten) bis zu den Nasenlöchern in die Wasseroberfläche eingetaucht (Abb. 4.08). Der Wasserspiegel soll 0,61 x WH (für mittelgroße Kühe 85 cm) über der Standfläche und 5 – 10 cm unter dem Trogrand liegen (BARTUSSEK et al., 2008). Richtwerte für Fütterung und Trinken sowie die empfohlene Troglänge pro Kuh bezüglich der Futterart befinden sich in der Tabelle 4.10.



Abb. 4.08: Optimale Gestaltung der Wasserbecken (KECK und ZÄHNER, 2004)

Tab. 4.10: Einige Daten über Fütterung, Tränken und Troglänge (BARTUSSEK et al., 2008; Damm, 1993)

Futtertischbreite	350 - 550 [cm]	Fressgitter – Kantenhöhe über Standniveau	50 - 60 [cm]
Krippentiefe	ca. 60 [cm]	Tränkenrandhöhe	100 [cm]
Fressplatzbreite	65 - 70 [cm]	1 Tränkebecken für	20 - 30 [Kühe]
Krippensohlenhöhe über Standniveau	20 [cm]	1 Trogränke für	30 - 40 [Kühe]

4.3.4.2 Grundsätze und Empfehlungen

- Die Tiere müssen grundsätzlich täglich Zugang zu Wasser haben. Bei großer Hitze muss Wasser ständig zur Verfügung stehen (BVET, 2003).
- Im Hinblick auf eine ausreichende Wasserversorgung aller Tiere ist bei Gruppenhaltung das Angebot an Tränkevorrichtungen an die Gruppengröße anzupassen (THVO, 2004).
- Wasser muss grundsätzlich auch für rangniedere Tiere erreichbar sein. Auf ausreichend viele Tränken im Stall ist zu achten. Für 4 - 6 % der Tiere (15 - 25 Rinder) ist je eine Trogränke einzurichten (für 15 Kühe min. 1 m lang, für 25 Kühe min. 2 m lang) (BARTUSSEK et al., 2008; THVO, 2004; GÖT, 2003).
- Die Wasserbecken müssen immer frei aufgestellt werden. Freier Zugang zu Tränken ist für

alle Tiere jederzeit zu gewährleisten. Ein von drei Seiten freier Zugang zur Tränke mit mindestens 3,0 m Freiraum muss garantiert werden (FÜRSCHUSS et al., 2004). Gute Standorte sind die rückwärtige Stallwand, Quergänge, die Futterachse vor oder nach dem Fressbereich und der Auslauf (BARTUSSEK et al., 2008).

- Die Wasserbecken und Tröge dürfen nicht in Sackgassen oder beengten Stallbereichen aufgestellt werden. Sie gehören nicht in den Zugangs- und Abgangsbereich des Melkstandes (Staugefahr), nicht in eingestreute Liegeflächen (Durchnässung) und nicht zum Fressgitter (FÜRSCHUSS et al., 2004).
- Die Trogoberkante liegt aus hygienischen Gründen üblicherweise bei 1,0 m Höhe.
- Die Wasseraufnahme muss aus einer freien Wasseroberfläche möglich sein. Dies bedeutet, dass z. B. Zapftränken für Rinder verboten sind (THVO, 2004).
- In Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur liegt die bevorzugte Wassertemperatur zwischen 10 °C bis 20 °C (FÜRSCHUSS et al., 2004). In der kalten Jahreszeiten muss das Wasser erwärmt werden, weil die Milchleistung mit wärmerem Wasser steigt (BARTUSSEK et al., 2008).
- Die Trogränken sollten mit Schwimmerregulierung installiert werden. Der Fassungsraum sollte mindestens 100 Liter, in Herden über 20 Kühe 200 Liter betragen (BARTUSSEK et al., 2008).

4.3.5 Melken

4.3.5.1 Bauliche Maßnahmen und Dimensionen

Die bauliche Gestaltung des Melkstandes hängt von der technischen Ausrüstung ab. In der Reihenfolge des möglichen Mechanisierungs- bzw. Automatisierungsgrads und der davon abhängigen Arbeitsproduktivität kann nach SCHWARK et al. (1972) zwischen folgenden Melkstandformen unterschieden werden:

- Reihemelkstand, mit Einzelwechsel der Kühe, nur für kleine Bestände geeignet.
- Tandemelkstand, ebenfalls mit Einzelwechsel, für Bestände von 25 bis 150 Kühen.
- Fischgrätenmelkstand (Melkstand in Fischgrätenform), vorwiegend mit Wechsel von Tiergruppen, für Herden ab 100 Kühen.
- Karussellmelkstand, tandemartig oder schräg angeordnete Tierstände, für Bestände ab 100 Kühen.

Der Raumbedarf für den Melkbereich ergibt sich aus der Herdengröße und aus dem Stallsystem. Während die Herdengröße den notwendigen Milchlagerraum und den Umfang der technischen Einrichtungen bestimmt, entscheidet das Stallsystem über den Raumbedarf des Arbeitsplatzes des Melkers. In allen übrigen Ställen ist ein zusätzlicher Raum für die Errichtung eines Melkstandes erforderlich (Tab. 4.11) (KRÄUSSLICH, 1981).

4.3.5.2 Grundsätze und Empfehlungen

Die bauliche Zuordnung des Melkstandes spielt eine entscheidende Rolle beim Laufstall, deshalb müssen einige bauliche Maßnahmen beachtet werden.

- Optimaler Kuhverkehr, d.h. schnelles, selbständiges Verlassen und Betreten des Melkstandes durch die Tiere. Der Zugang zum Melkstand muss direkt (keine Richtungsänderung), kurz, stufenlos, ausreichend breit (keine zu schmalen Gänge), ohne Schwellen sein.
- Der Melkstand ist so anzuordnen, dass der Abgang für die Tiere zum Fressbereich erfolgt.

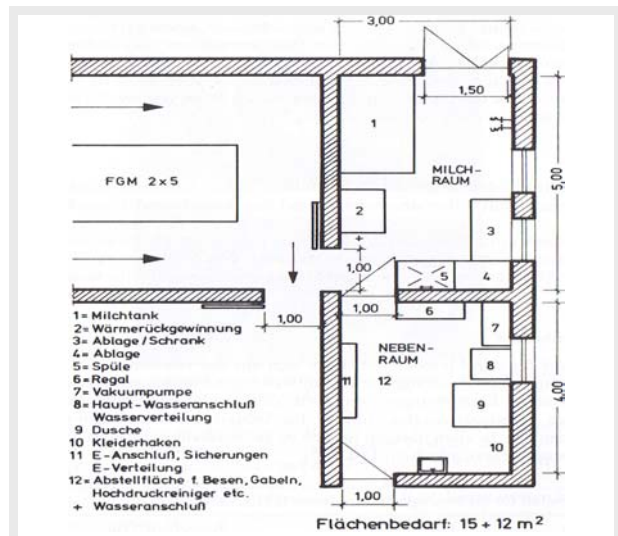


Abb. 4.10: Milchraum mit Installationsraum für Laufstall 50 - 60 Kühe (KRÄUSSLICH, 1981)

- Keine Tränke und Kraftfutterabrufstation in der Nähe des Melkstandes.
- Bei Beständen bis etwa 80 Kühe ohne Leistungsgruppen kann auf einen besonderen Warteraum verzichtet werden, wenn ein Laufgang mit ausreichender Breite vorhanden ist (2,00 bis 2,30 m) (BFL: Melktechnik).
- Die Warteräume können mit einer Nachtreibehilfe versehen werden. Dieser Einsatz muss ohne die Anwendung von Elektroschocks erfolgen, da sonst die Milchhergabe negativ beeinflusst werden kann.
- Die Größe des Warteraumes von $1,5 \text{ m}^2/\text{Tier}$ soll mindestens der doppelten Anzahl der Melkstandplätze entsprechen (BOEGE, 1998).
- Der Warteraum soll nach Möglichkeit der Melkstandbreite entsprechen und einen geraden Eintrieb haben. Der Zugang zum Warteraum soll für alle Gruppen auf möglichst kurzem Weg erreichbar sein. Zugang und Rücklauf dürfen nicht über die Fressplatzbereiche anderer Gruppen erfolgen (BOEGE, 1998).
- Bei einem Bestand bis ca. 60 Kühe kann der Melkstand noch innerhalb des Stallgebäudes angeordnet sein, bei größeren Herden, ab ca. 80 Kühe, sollte das Melkzentrum seitlich als Anbau an den Stall erfolgen (BFL: Melktechnik).
- Wird der Melkstand in den Stall integriert, ist er vom Stallbereich durch dichte Wände abzutrennen.
- Die Wände müssen mit glatten und leicht abwaschbaren Materialien verkleidet. Es wird helle Verfliesung bis zur Decke empfohlen (BARTUSSEK et al., 2008).
- Melkstandwände können mit sauber verfugtem Ziegelsichtmauerwerk kostengünstig und hygienisch einwandfrei hergestellt werden (DAMM, 1993).
- Der Fußbodenbereich muss wasserdicht, säurebeständig, abnützungsfest und rutschsicher ausgebildet werden. Bodenfliesen ohne Profilierung sind für den Tierbereich zu glatt.
- Eine profilierte Oberfläche erschwert aber die Reinigung. Kotroste im Bereich der Hinterhand vermindern Kot- und Harnspritzer und erleichtern die Reinigung (BARTUSSEK et al., 2008).
- Das Abwasser von Melkstandseiten und Melkflur muss durch Kanäle in die Jauche- oder

Güllegrube abgeleitet werden.

- Die hohe Luftfeuchtigkeit, die durch die Tiere und das Reinigungswasser verursacht werden kann, sowie die Schimmelbildung im Winter müssen durch Maßnahmen für einen ausreichenden Wärmeschutz der raumumschließenden Bauteile verhindert werden (BARTUSSEK et al., 2008).
- Unverzichtbar ist eine wirksame Be- und Entlüftung des Melkraumes. Dabei gelten dieselben Grundsätze wie bei der Stalllüftung: Ausreichender Luftwechsel und Zugluftfreiheit. Deshalb sollte auch in separierten Melkständen eine Porenlüftung über eine luftdurchlässige Decke eingeplant werden. Zur Abluftführung genügt ein Schwerkraftschacht mit Drosselklappe oder -jalousie (BARTUSSEK et al., 2008).
- Während der Melkzeit sollte die Raumtemperatur etwa 12 °C bis 15 °C betragen und darf 5 °C nicht unterschreiten. Die relative Luftfeuchte sollte ca. 75 % betragen und möglichst 80 % nicht überschreiten. Im Sommer sollte die Temperatur beim Melken 30 °C nicht überschreiten (BENNINGER, 1985).
- Auf ausreichende Belichtung und helle Beleuchtung im Melkflur ist zu achten. Die Elektroinstallation muss in Feuchtraumausführung von einem konzessionierten Unternehmen durchgeführt werden (BARTUSSEK et al., 2008).
- Der Melkflur muss ausreichend tief sein. Für den Durchschnittsmenschen beträgt die richtige Tiefe 80 bis 85 cm unter der Standfläche der Kühe. Die Stufen zum Melkflur sollten 20, höchstens 22 cm hoch und am besten aus feuerverzinktem Riffelblech gefertigt sein.

4.3.6 Entmistung

4.3.6.1 Bauliche Maßnahme und Dimensionen

Der Anfall an Dung, Jauche und Gülle ist abhängig von der Tierart, dem Alter und der Leistung der Tiere, der Futterration und den angewandten Haltungsverfahren. Durchschnittlich koten Rinder etwa 10 bis 15-Mal am Tag. Kühe erzeugen bei mittlerer Milchleistung eine tägliche Gesamtkotmenge (Frischmist) von rund 30 kg. Auch Harn wird mehrmals am Tag abgesetzt. Erwachsene Tiere können bis zu 20 kg ausscheiden. Als grober Mittelwert gelten 50 kg Ausscheidungen (Kot und Harn) pro GVE und Tag. Der tägliche Frischmist- und Jaucheanfall werden im Anhang (1) Tabelle A1.7 (S. 240) genannt.

■ Festmistverfahren

Beim Festmistverfahren ist eine tägliche gleichmäßige Einstreuversorgung die Voraussetzung für die Bindung von Harn sowie für trockene Flächen (SMUL, 2008). Der Festmist wird auf Dungplatten gelagert. Die dazugehörige Jauchegrube sollte unter oder in der Nähe der Dungplatte erstellt werden (REEPMEYER, 1985). Dunglagerstätten werden vorrangig als einfache Betonplatte und dreiseitig umwandet ausgeführt. Eine dreiseitige Umwandung des Dunglagers verringert die emittierende Oberfläche des Dungstapels gegenüber einer einfachen Platte erheblich. Die Bemessung der Größe des Lagerraumes für Dung kann nach verschiedenen Quellen festgestellt werden:

- Die Stapelhöhe sollte möglichst 2,00 m betragen, um eine geringe emittierende Oberfläche zu schaffen. Moderne Teleskoplader erreichen eine Stapelhöhe bis zu 4,00 m. Bei 2,00 m

Stapelhöhe ist die Dungplatte $3,6 \text{ m}^2/\text{Kuh}/6 \text{ Monate}$ (DAMM, 1993). Bei $2,5 \text{ m}$ Stapelhöhe ist die Dungplatte $0,5 - 0,6 \text{ m}^2/\text{GV}/\text{Monat}$ (BFL, 1985).

- Für Lagerung von Festmist werden etwa $2 - 3 \text{ m}^2/\text{GV}$ benötigt, wenn der Mist 6 Monate gelagert und bis zu einer Höhe von etwa 2 m gestapelt werden soll (BOGNER et al., 1978).
- Jauchegrube: $0,5 - 0,6 \text{ m}^2/\text{GV}/\text{Monat}$ (BFL, 1985).

Für den Bedarf an Dunglagerfläche (m^2/Tier) werden die Orientierungswerte nach der Tabelle A1.7 im Anhang (1) festgestellt.

■ Flüssigmistsysteme

Gülle und Jauche können entweder im Hochbehälter (aus Metall oder Beton) oder im Tiefbehälter im Boden (aus Beton) gelagert werden. Auch folienausgekleidete Erdbehälter sind zulässig. Emissionsminderungen bis zu 95% werden aber nur durch „feste Abdeckungen“ (Zelt-dach, Betondecke) möglich.

Die Bemessung der Größe des Jauchebehälters muss auf folgende Beschreibung und Tabelle 4.12 ausgerichtet werden:

- Speicherraum: $1,3 - 1,5 \text{ m}^3/\text{GV}/\text{Monat}$ (BFL, 1985).
- Mehrbedarf z.B. bei Schlempefütterung oder hohem Wasserzusatz: bis $0,3 \text{ m}^3/\text{GV}/\text{Monat}$.
- Hohe Behälter ($h > 5,00 \text{ m}$) haben bezogen auf die Lagerkapazität eine geringere emittierende Oberfläche als flachere Behälter.

Für die Flüssigmistsysteme gibt es verschiedene Abmessungen der Kanäle, die in der Tabelle 4.13 gezeigt werden.

Tab. 4.12: Gülleanfall und Lagerraum sowie Dungplatte für jede Tierart (DAMM, 1993)

Tierart	Gülleanfall pro Tier und Monat [m^3]	Notwendiger Lagerraum bei 6-monatiger Lagerungsdauer [m^3]
Milchkuh	ca. 1,5	ca. 9,0
Jungvieh über 2 Jahre	ca. 1,4	ca. 8,4
Jungvieh 1-2 Jahre	ca. 1,0	ca. 6,0
Jungvieh unter 1 Jahr	ca. 0,5	ca. 3,0

Tab. 4.13: Abmessungen der Kanäle für Flüssigmistsystem (DAMM, 1993)

	Kanalbreite [m]	Kanaltiefe [m]	Kanallänge [m]
Zirkulationssystem	2,00 - 3,00	1,2 - 1,5	60 - 80
Slalomsystem	2,00 - 3,00	- 1,5	- 200
Treibmist	0,80 - 3,00	0,8 - 1,2	Max. 20
Querkanäle	Mind. 1,2		
Flachkanäle	2,00 - 3,00	0,50 - 0,55	- 20

4.3.6.2 Grundsätze und Empfehlungen

■ Für Festmistverfahren

- Der planbefestigte Stall mit mechanischer Entmistungstechnik ist kostengünstiger als die Spaltenbodenausführung. Daher ist die mechanische Entmistung zu empfehlen, insbesondere mit möglichst wenigen und dafür langen Laufgängen. Bei Ställen ab etwa 40 m Länge sind Schieberanlagen deutlich billiger als Spaltenbodenställe. Dazu kommt, dass moderne Mistschieber gegenüber Ausführungen früherer Jahre deutlich verbessert und damit auch weniger störanfällig sind.

- Die Entmistung erfolgt durch Hofschlepper (Front- oder Heckschieber), deshalb sollte die Hubhöhe des Frontladers Stapelhöhen des Dungs von möglichst 2,5 m gewährleisten.
- Wenn es im Stallgebäude viele verwinkelte Achsen gibt, wird vorteilhafterweise die mobile Entmistung mit Motormäher oder Hoftrac empfohlen (SCHICK und MORIZ, 2004).
- Bei hohem Grundwasserstand oder anstehenden Felsen sollten Laufflächen planbefestigt in Betonestrich ausgeführt werden.
- Schlitze oder Rautenmuster werden in den Estrich eingearbeitet zur Verbesserung der Trittsicherheit.
- Durch das häufige Abschieben werden einfache Betonflächen im Laufe der Zeit sehr glatt, sie müssen dann wieder aufgeraut werden.
- Als Alternative zu Betonestrich wird gelegentlich auch Guss-Asphalt eingesetzt, was aber eine teure Lösung darstellt.

■ Für Flüssigmist

- Für den Liegeboxenlaufstall werden zwei Entmistungsverfahren empfohlen: Das Zirkulationsverfahren und das Treibmistverfahren.
- Beim Zirkulationssystem ist auf ausreichenden Abstand zwischen der Oberfläche der Gülle und dem Spaltenboden zu achten (BFL, 1985).
- Bei Treiblängen von 20 m beträgt die Kanaltiefe bereits 1,0 m, deshalb sind bei größeren Kanallängen mittige Querkanäle vorzusehen (bei Treibmistverfahren) (BFL, 1985).
- Flüssigmistkanäle und Fertigteile müssen sorgfältig und exakt verlegt und wasserdicht verfugt werden und mit möglichst glatter Oberfläche ausgeführt werden (BARTUSSEK et al., 2008).
- Gülle gehört zu den Stoffen mit einem schwachen chemischen Angriff auf Beton.
- Die Kanalwände müssen mindestens 15 cm dick ausgeführt und entsprechend dem Stand-sicherheitsnachweis bewehrt werden (BARTUSSEK et al., 2008).
- Es sollte eine Betondeckung von 3,5 cm angestrebt werden. 2,5 cm müssen die Bewehrungseisen mindestens von Beton überdeckt sein (BARTUSSEK et al., 2008).
- Richtige und ausreichende Verdichtung des Betons sowie sachgemäße Nachbehandlung verhindern undichte Stellen und Schwindrisse (BARTUSSEK et al., 2008).
- Zwischen Stall und Außenlager ist ein Geruchsverschluss erforderlich (WANKA, 2003; BFL, 1985).
- Das Fassungsvermögen eines Güllelagerbehälters (Hoch- oder Tiefbehälter) sollte max. 4 m Höhe und 1000 m³ Volumen nicht überschreiten (BFL, 1985).
- Die Lagerkapazität für Jauche ist für mindestens 180 Tage zu bemessen (SMUL, 2008).
- Für den Einbau in Erde eignen sich besonders Betonbehälter (BFL, 1985).
- Die Einstreumenge sollte 1 – 1,5 kg Stroh je GV und Tag nicht überschreiten, damit eine pumpfähige Konsistenz erhalten bleibt und nicht die spezielle Festmisttechnik erforderlich wird (Ldw. Kammer, Rheinland-Pfalz, 2006).

4.3.7 Auslauf

4.3.7.1 Bauliche Maßnahmen und Dimensionen

Bei freier Aufenthaltswahl zwischen einem geschlossenen Laufstall und einem Laufhof tagsüber benützen die Tiere einer Herde den Auslauf nur zu rund 20 % der möglichen Zeit, wenn die Laufhofgröße 2,7 m²/Kuh (2 m²/GVE) beträgt. Die Benutzungsdauer steigt auf 40 % wenn der Auslauf etwa 8,0 m²/Kuh (6 m²/GVE) groß ist. Bei 19,5 m²/Kuh (15 m²/GVE) halten sich die Tiere fast 80 % pro Aufenthalt im Auslauf auf. Beim befestigten Auslauf braucht jede Kuh 5 m² und mit Fressplätzen 7 m² Mindestfläche im Auslauf (BARTUSSEK et al., 2008).

4.3.7.2 Grundsätze und Empfehlungen

- Nicht befestigte Ausläufe, die ständig frei zugänglich sind, müssen aus Gründen des Gewässerschutzes, der Hygiene und des Tierverhaltens abgelehnt werden.
- Befestigte Ausläufe müssen mit einem leichten Gefälle zu einer Sammelrinne bzw. zur Güllegrube ausgeführt und mit dem Traktorschiebeschild regelmäßig gereinigt werden.
- Es wird ein Klauenbad (1 x 2,4 m, 15 cm tief) zwischen Stall und Laufhof empfohlen.
- Betonböden sind mit Dehnfugen auszustatten, die mit Bitumen vergossen sind. Bodenoberfläche und Rutsicherheit müssen berücksichtigt werden.
- Bezüglich der Ausstattung von Ausläufen konnte der positive Effekt der Sonnenstrahlung und eines wirksamen Windschutzes in der kalten Jahreszeit nachgewiesen werden.
- Die Attraktivität eines Auslaufes hängt neben der Größe, der Bodenbeschaffenheit und der Klimasituation von weiteren Ausstattungselementen ab, damit diese von den Tieren gerne aufgesucht werden.
- Tränketröge, Heuraufen, Lecksalz und besonders Einrichtungen zur Körperpflege gehören zum Auslauf (BARTUSSEK et al., 2008).
- Weidegang während der Vegetationsperiode kann Auslaufflächen ersetzen (VO-EG 1804-1999).

4.3.8 Stallklima - Grundsätze und Empfehlungen

4.3.8.1 Grundsätze für Sonnenschutz

- Der Stall ist günstig zur Himmelsrichtung zu stellen, damit den Tieren genügende Sonneneinwirkung und ausreichender Witterschutz geboten wird. Der Stallraum ist so zu legen, dass im Winter eine gute Durchsonnung erzielt wird und im Sommer ein guter Sonnenschutz.
- Die Rinder müssen bei extremer Witterung mit einem natürlichen oder künstlichen Witterungsschutz gehalten werden (BVET, 2003).
- In einem Witterungsschutz müssen alle Tiere gleichzeitig Platz finden, für Unterstände gelten grundsätzlich die Mindestflächen gemäß Tierschutzverordnung bzw. Richtlinien für entsprechende Tierart und Tierkategorie (BVET, 2003).
- Bei starker Sonneneinstrahlung und Hitze muss für alle Tiere Schatten vorhanden sein, z.B. durch Baumgruppen, Gebäudeschatten oder eine Bedachung (BVET, 2003).

- Große Dachflächen können sich jedoch durch die Sonneneinstrahlung erheblich aufheizen. Dunkle Dachflächen heizen sich besonders stark auf. In frei belüfteten Ställen können daher durch eine nachträgliche Wärmedämmung des Daches oftmals hohe Temperaturen im Stall verhindert werden (BÜSCHER, 2005).

4.3.8.2 Grundsätze für Stalllüftung

- Stallgebäude sollen nicht durch Nachbargebäude, Gehölzanpflanzungen oder andere Hindernisse abgeschirmt sein. Auch Tallagen sind ungünstige Standorte (Abb. 4.11) (SMUL, 2008).
- Die freie Lüftung bringt eine gewisse Unsicherheit mit sich, da sie sehr stark von den meteorologischen Bedingungen (Außenlufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung ...) abhängt. Eine ganzjährig funktionstüchtige und kontrollierte Lüfterneuerung in Ställen ist nur durch den Einsatz der Zwangslüftung zu gewährleisten (KIRSCHNER et al., 1976).
- Die freie Lüftung lässt sich allein praktisch nur bei kleinen bzw. schmalen Ställen mit geringer Tierbelegung verwirklichen, und auch nur dann erfolgreich, wenn durch Öffnen und Schließen bestimmter Öffnungen (Fenster, Türen) eine Möglichkeit zur ständigen Anpassung gegeben ist (KIRSCHNER et al., 1976).
- Stallbreiten über 24 m sollten im Normalfall vermieden werden (MÜLLER et al., 1998).
- Die Luftströmung sollte die natürliche Hauptwindrichtung unterstützen, deshalb sollen die geschlossenen Ställe mit der Längsachse quer zur Hauptwindrichtung gestellt werden (Abb. 4.11) (ALF, 2006).
- Jeder geschlossene Rindviehstall benötigt eine ausreichende Lüftungseinrichtung, die für einen Stall aus einer freien Lüftung bestehen kann, also einer Wand-, Fenster-, Decken- oder Schachtlüftung.
- Die Öffnungen müssen sowohl auf der Zuluftseite als auch auf der Abluftseite des Raumes vorhanden sein; der Luftstrom, der dem Stall zugeführt wird, muss wieder aus dem Raum entfernt werden (KIRSCHNER et al., 1976).
- Die Frischluft muss im Stall nicht nur gleichmäßig, sondern auch zugluftfrei verteilt werden.
- Die Liegebereiche müssen bei starker Luftgeschwindigkeit geschützt werden (BVET, 2003).
- Das vorhandene Stallraumvolumen sollte mindestens 15-20 m³/GV (eine Großvieheinheit ca. 500 kg Tiergewicht) betragen. Bei Kühen mit 700 kg sollte ein freier Luftraum von 35 m³/Kuh nicht unterschritten werden (MÜLLER et al., 1998). Außenklimaställe mit 40 bis 50 m³/Luftvolumen pro Tier haben sich in der Praxis bewährt (HAUSLEITNER, 2001).
- In Kuhställen ergeben sich Traufhöhen von 3,50 - 4,50 m (HAUSLEITNER, 2001; MÜLLER et al., 1998). Die wirksame Auftriebshöhe (mittlerer Abstand zwischen Zu- und Fortluftöffnung) sollte ≥ 3 m sein (MÜLLER und WEGHE, 1992).
- Luftschächte müssen wärmegeklämt ausgeführt werden.
- Wird für den Melk- und Technikbereich eine wärmegeklämte Zelle innerhalb oder außerhalb des Hallengebäudes grundsätzlich vorausgesetzt, wird für den Liege- und Fressbereich des Tieres nur ein reiner Wetterschutz benötigt. Dieser Wetterschutz gewährleistet dem Tier einen trockenen und zugfreien Liegebereich und schützt das Futter vor Nässe

(MÜLLER et al., 1998).

- Der optimale Temperaturbereich liegt für Kühe deutlich unter dem Niveau des Menschen, deshalb müssen die Funktionsbereiche in ihrer Bauausführung klar getrennt werden (MÜLLER et al., 1998).
- Wegen einiger Maßnahmen gegen Umweltverschmutzung und der strengeren Regelungen zum Immissionsschutz sollte die Abluft aus Rinderställen gereinigt werden. Zur Reinigung der Abluft können verschiedene Systeme wie z.B. Biofilter, Abluftwäscher, mehrstufige Verfahren eingesetzt werden (KTBL, 2006).

4.3.8.3 Grundsätze für Stalllüftung mit Großraumventilatoren und Ventilatoren mit Unterstützungslüftung (ALF, 2006)

- Der Ventilator sollte möglichst kühle frische Luft ansaugen (von Nordseite).
- Der Einbau sollte maximal 2 bis 4 m von der offenen Wand entfernt oder direkt in die geschlossene Wand erfolgen.
- Die Unterkante der Lüfter sollte 2,50 m über den Tieren sein.
- Der Neigungswinkel des Ventilators sollte 10 bis 15 Grad nach vorne sein.
- Der Luftaustritt auf der Gegenseite muss offengehalten werden (kein Gegendruck).
- Gleichmäßige Luftströmung im Liegebereich der Tiere einhalten.
- Möglichst energiesparend: Leistungsaufnahme maximal 50 W / 1000 m³ geförderte Luft.
- Hohe Luftleistung: min 15 000 m³/Stunde freiblasend.
- Möglichst geräuscharm: max. 50 db.
- Position: Überblasen des Wartebereiches vom Melkstand weg.
- Anordnung mehrerer Ventilatoren in Reihe: Entweder alle in die gleiche Richtung, um den Luftwechsel zu steigern oder in Kreisanordnung, damit eine stallinterne Luftumwälzung unterstützt wird. Die Abstände zwischen den Ventilatoren in Reihe müssen min. 20 m und die Abstände der Ventilatoren seitlich sollten min. 10 m sein.
- Es ist dafür Sorge zu tragen, dass die Gitter der Lufteintrittsflächen frei von Verunreinigungen (Staub, Blätter) sind (TVT, 2005).

4.3.8.4 Grundsätze für Belichtung und Beleuchtung

- Grundsätzlich gilt für Überlegungen bezüglich der Belichtung, dass möglichst viel natürliches Tageslicht in den Stall gelangen sollte, d.h. je heller desto besser (Ldw. Rheinland-Pfalz, 2006; BVET, 2002).
- Im Stall sollen die Fensterflächen 20 % der Fußbodenfläche betragen (BVET, 2003).
- Die Lichtphase darf nicht künstlich auf über 16 Stunden pro Tag ausgedehnt werden (BVET, 2002; 2003). Dabei wird von einer wirksamen Beleuchtungsstärke von 200 Lux im Kopfbereich der liegenden Kuh ausgegangen (Ldw Kammer - Rheinland-Pfalz, 2006).
- Die Beleuchtungsstärke muss im Aufenthaltsbereich der Tiere tagsüber mindestens 15 und in der Nacht 80 Lux betragen bei möglichst gleichmäßiger Verteilung (AUBEL und BUSSE-MAS, 2004).
- Es ist darauf zu achten, dass der Abstand zwischen Lampe (unterster Teil) und Tieren (Rü-

cken bzw. Kopf) mindestens 1,2 m beträgt (BVET, 2002).

- Bei Verwendung von UV-Lampen ist darauf zu achten, dass der Abstand zwischen Lampe (unterster Teil) und Tieren (Kopf bzw. Rücken) mindestens 1,2 m beträgt. Namentlich in niedrigen Ställen müssen die Tiere durch Blenden (Abschirmplatten unten an Lampen) vor direkter Bestrahlung auf zu kurze Distanz geschützt werden (BVET, 2003).
- Die Verwendung von UV-Lampen (Ultraviolett) zur Desinfektion der Stallluft bildet keinen Ersatz für das Tageslicht, da das Spektrum der Wellenlängen von UV-Lampen nicht dem Spektrum des Tageslichts entspricht, bei dem eine visuelle Orientierung möglich ist (BVET, 2002; 2003).

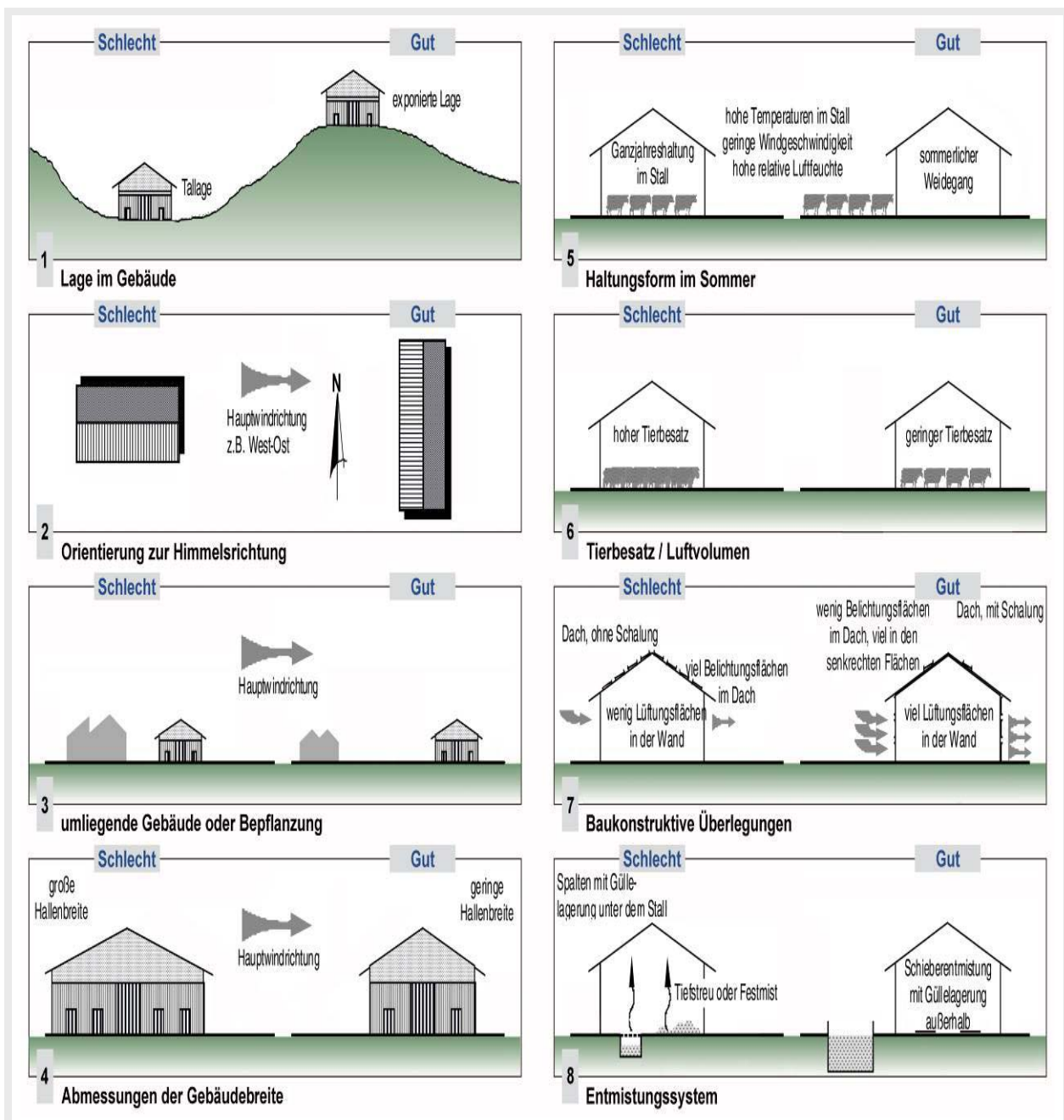


Abb. 4.11: Die Einflussfaktoren Standort, Außenklima, Baukonstruktion und Nutzung auf das Stallklima (bearbeitet nach Landwirtschaftskammer - Rheinland-Pfalz, 2006)

4.4 Raumbedarf für Remisen und Einzelmaschinen

Bevor der Stellflächenbedarf einzelner Fahrzeuge und Geräte ermittelt wird, sind einige Überlegungen zu Maschinenhallen und Unterstellräumen sowie der Art der Unterbringung notwendig. Dabei ist festzuhalten, dass neben der eigentlichen Unterbringung der Fahrzeuge auch die Anbindung an die Verkehrsflächen beachtet werden sollte. Die Grundfläche einer Maschinenhalle richtet sich nach dem vorhandenen Maschinenbestand. Um eine längere Nutzungsdauer sicherzustellen, sollte sie ausreichend groß bemessen sein. Dabei ist auch eine spätere Erweiterung zu berücksichtigen (BOEGE, 1998).

■ Raumbedarf

Für die Raumbedarfsberechnung einer Maschine wird bei den Dimensionen Länge, Breite und Höhe ein Zuschlag berücksichtigt. Dieser Zuschlag dient als Funktionsraum und ist notwendig, damit die betreffende Maschine ohne große Schwierigkeiten an den Remisenplatz gebracht werden kann. Je nach Art der zu remisierenden Maschine handelt es sich um eher knapp oder großzügiger bemessene Werte. Der je Maschine zu berücksichtigende Flächen- und Raumbedarf setzt sich aus dem Netto- und Funktionsraum zusammen (Abb. 4.12, links). Funktionsräume für Maschinen werden auf unterschiedliche Weise berücksichtigt, z. B. wird zu der Summe der Stellflächen der einzelnen Maschinen ein Zuschlag von 25 - 50 % gegeben (OTTO, 1990).

Die Mindesthöhe von Unterstellräumen, Toren und Durchfahrten richtet sich nach dem Traktor. Fast alle Geräte müssen mit seiner Hilfe an ihren Abstellort gebracht werden können. Der Höhenzuschlag bzw. Sicherheitsabstand für Traktoren wird meist mit 20 bis 30 cm angegeben (AMMANN und HILTY, 1989).

■ Vorgelände

Lange Fahrzeuge benötigen je nach Gestaltung der Ein- und Ausfahrt mehr oder weniger große Wendeflächen. Muss mit einem Gefährt seitwärts weggefahren werden und es erst außerhalb des Gebäudes möglich ist abzubiegen, ist z. B. bei einem Anhänger oder Ladewagen mit einer Vorplatztiefe von zirka 9 Metern zu rechnen (Abb. 4.12, rechts). Maßgebend sind der Radstand des Anhängers, die Deichsellänge, die Anordnung des Zugmauls am Traktor und der minimale Wenderadius des Traktors (AMMANN et al., 2002).

■ Empfehlungen und Grundsätze

Bei den Richtwerten für die einzelnen Maschinen wurden folgende Funktionsflächen berücksichtigt:

- Traktoren und Transporter: 75 cm je Seite in Länge und Breite, 20 bis 30 cm in der Höhe.
- Selbstfahrende Zuckerrüben-Vollernter und Zuckerrüben-Ladegeräte: 60 cm je Seite in Länge und Breite von Ladewagen, Großballenpressen und Mähdrescher: 50 cm je Seite in Länge und Breite.
- Güllefässer ab 3000 l, Ballenladewagen und Großballen-Transportwagen: 40 cm je Seite in Länge und Breite.
- Übrige Maschinen: 30 cm je Seite in Länge und Breite.
- Bei einigen, besonders wenig Fläche beanspruchenden Maschinen (Beispiel Kettensäge) ist der Funktionsraum kleiner festgelegt.
- Die benötigte Raumhöhe für Traktoren bewegt sich inklusive des Funktionszuschlages im

Bereich von 2,6 bis 3,4 m. Für Maschinen, die von Hand remisiert werden (Beispiel Motor-mäher) beträgt der Höhenrichtwert 2,2 m.

- Die Straßenverkehrsverordnung lässt Straßenfahrzeuge bis zu einer Höhe von 4 Metern zu. Für solche Gefährte, wie zum Beispiel große Mähdrescher oder Anhänger mit Strohballen, sind die Durchgänge entsprechend auszulegen. Diese benötigen im Minimum Einfahrthöhen von 4,2 Metern.

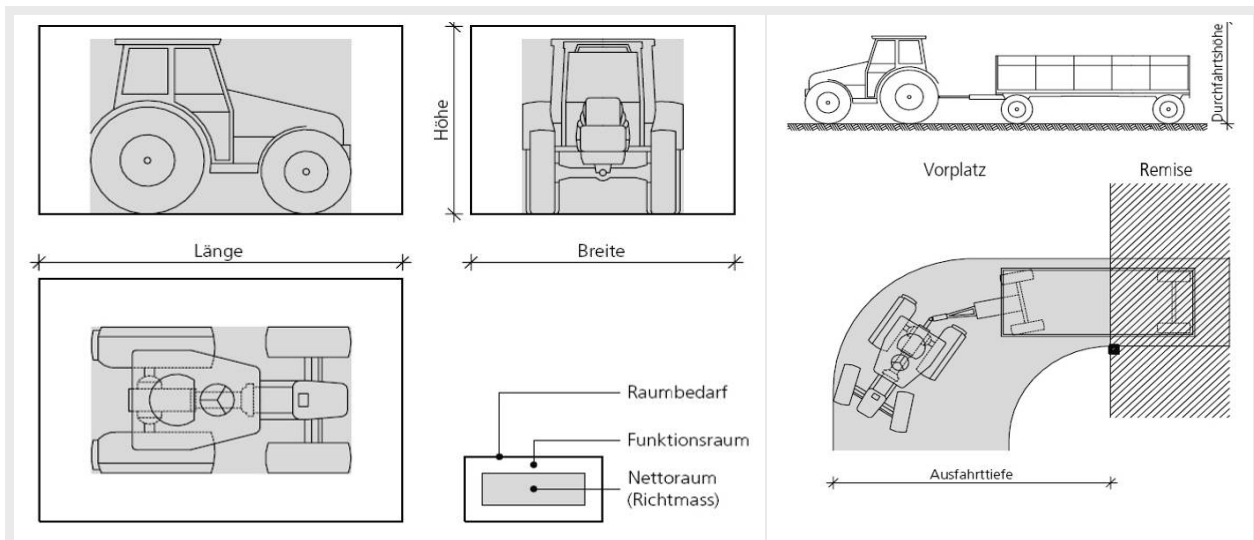


Abb. 4.12: links- Raumbedarf für einzelne Maschinen (Traktor), rechts- Notwendigkeit der Vorplatztiefe (AMMANN et al., 2002)

4.5 Transportachsen

In Rinderställen sind in regelmäßigen Intervallen Raufutter, Grünfutter, Gärfutter, Kraftfutter, Flüssigfutter, Einstreu, sonstige Produktionsmittel, Tiere (Zukauf, Verkauf) und tierische Erzeugnisse oft mit erheblichen Volumen und/oder Gewichtsausmaßen zu transportieren. Die dazu nötigen Arbeitsachsen sind umso sorgfältiger zu planen.

Der Transport kann manuell, halbmechanisch, vollmechanisch, pneumatisch oder hydraulisch erfolgen. Man sollte im Zuge der Planung sorgfältig mögliche Varianten und Alternativen prüfen, um die kostengünstigste und arbeitswirtschaftlich beste Lösung zu finden, die zudem zukünftige Änderungen, Erweiterungen oder Ergänzungen zulässt.

Beim Einsatz von Maschinen und Geräten ist auf technische Einbauerfordernisse, Raumanprüche, maximale Entfernungen, Energiebedarf und –anschluss, Freiräume für Antriebe und Verkehrsflächen, notwendigen Raum zum Zwischenlagern sowie möglichst auf zukünftige Entwicklung Rücksicht zu nehmen. (s. Abschnitt: Remise ...)

Die wichtigsten Transportachsen sind die Futterachsen. Dazu gehören einerseits die Wege des Futtertransportes vom Futterlager zum Tierbereich, andererseits aber auch die Raumerfordernisse zur Futtervorlage im Stall. Vor allem bei der Planung befahrbarer Futtertische muss sehr gründlich die notwendige lichte Mindestbreite zwischen den Fressgittern (bei zweireihigen Futtertischen) oder zwischen Fressgitter und Wand überlegt werden. Die Tabelle 4.14 gibt grobe Anhaltswerte für Arbeitshöhen und –breiten verschiedener Mechanisierungsstufen (BARTUSSEK et al., 2008).

Tab. 4.14: Arbeitsbreiten und Arbeitshöhen bei verschiedenen Stufen der Mechanisierung mit mobilen Geräten (BARTUSSEK et al., 2008)

Arbeitsvorgang	Mindestbreite [m]	Mindesthöhe [m]	Wenderadius [m]
Manuell mit Kübel, Gabel	0,80	2,00	-
Manuell mit Karren / Wagen	1,20	2,00	-
Hoftrac	1,20	2,50	2,50
Traktor	2,20	3,00	3,5 ohne Hänger, 6,00-8,00 mit Hänger
Ladewagen	3,00	3,00 – 3,60	-
Großfuhren	4,00	4,00	10,00

■ Empfehlungen

- Innerhalb des Gebäudes sind alle Räumlichkeiten so zu planen, dass die zu bewegenden Transportgüter auf kurzen und möglichst geraden Wegstrecken zu ihren Verbrauchsstellen bzw. Lagerplätzen gebracht werden können.
- Die nötigen Verkehrsflächen und befestigten Arbeitsflächen sind einmal von der Größenordnung und Wendigkeit der Transportgeräte, zum anderen von der Be- und Entladetechnik abhängig. Vor der Anfahrt an den Flachsilos sind Abstände von 12 bis 15 m erforderlich. Vor Anfahrten und Auffahrten an Bergeräumen und Dungsilos Gebäudeabstände von 12 bis 15 m vorzusehen (MEHLER und HEINIG, 1968).
- Futterachsen müssen für Fahrzeuge bis 4 m Höhe durchfahrbar sein (BOEGE, 1998).

KAPITEL

5

Methoden zur Hitzestressvermeidung und zur Stall- und Gebäudekühlung

5.1 Einleitung

In Milchviehställen können einige Methoden zur Reduzierung der Hitze durchgeführt werden z.B. Dampfkühlung und Beschattung, komfortable Umgebung und geringere Dichte von Kühen im Stall. Der Hitzestress des Milchviehs kann durch die künstliche Kühlung vermindert werden. Das Ausmaß der Verbesserung des Produktionsniveaus von Kühen hängt von der Art des Systems, dem Stallklima und dem Wohlbefinden der Tiere ab (PENNINGTON und VAN DEVENDER, 2006; ARMSTRONG, 1994A).

Das primäre Ziel zur Reduzierung der Wärmebelastung und Vermeidung von Hitzeschäden ist die Förderung und Erleichterung der Wärmeabgabe der Tiere sowie die Senkung der Wärmeproduktion, die durch folgende Maßnahmen sichergestellt werden können (JAKOB und VAN CAENESEM, 1993):

- a) **Konvektion:** Durch Verringerung der Besatzdichte im Stall lässt sich die Wärmebilanz zugunsten der Tiere verbessern. Die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Tierbereich führt zur Erhöhung der konvektiven Wärmeabgabe und reduziert die Hitzebelastung erheblich (TVT, 2005; HERKNER, 2002).
- b) **Wärmeableitung:** Verbesserung der Wärmeleitung durch Fußböden ist denkbar. Fußböden aus Beton (guter Wärmeleiter) erleichtern die Wärmeleitung. Zur Verbesserung der Wärmeableitung ist die Senkung der Besatzdichte möglich. Bei extremer Hitzebelastung kann die Ableitung der tierischen Wärme durch Versprühen von Wasser u. a. auf raumumschließende Bauteile oder die Tiere selbst erreicht werden.
- c) **Wärmestrahlung:** Auch hierzu kann die Besatzdichte abgesenkt werden. Vor allem aber müssen die raumumschließenden Bauteile die tierischen Wärmestrahlen abführen.

Hitzeschäden können auch durch das Management der Fütterung und des Trinkens verhindert werden. Eine gesteigerte Wärmeabgabe beeinflusst die Verdaulichkeit der Ration und verbindet sich im Sommer unter Hitzestress mit einer höheren Wasseraufnahme. Deshalb müsste die Ration dafür angepasst werden. Die Reduzierung der Fütterung und ein Wechsel der Fütterungszeiten (7.00 - 18.00) bei Hitze (24 °C - 32 °C) mit einer kontinuierlichen Versorgung mit kühlem Tränkwasser können dazu beitragen (TVT, 2005); (VOIGT, 2003; WEST et al. 2003; OMINSKI et al., 2002 (In: FISCHER, 2004)).

An den warmen Tagen ist eine ausreichende Wasserversorgung der Tiere sehr wichtig, deshalb muss der Wassereinlass während der Zeiten des Hitzedruckes für die Kühe erhöht werden. Die Steigerung der Umgebungstemperatur um 1 °C oberhalb einer Tagesmitteltemperatur von 0 °C erhöht die Wasseraufnahme je Tier und Tag um annähernd 1 l. Tiere mit sehr hoher

Milchleistung nehmen an warmen Tagen ca. 100 - 180 l Wasser auf und dieses mit großer Geschwindigkeit. Kühe mit großem Durst saufen mehr als 25 l Wasser in der Minute (BARTUSSEK et al., 2008; MAHLKOW, 2007). Deshalb müssen genügend Wasserbecken aufgestellt werden. Zwei Wassertränken müssen mindestens pro Gruppe zur Verfügung stehen (JONES et al., 1999; BEEDE, 1992) (s. auch Tab. 4.10).

Für die optimale Leistung von Menschen und Tieren wurden in Gebäuden der heißen Klimaregionen, wo das komfortable Raumklima wichtig für das Wohlbefinden ist, werden verschiedene Systeme zur Gebäudekühlung verwendet. Zur Kühlung der beiden Gebäudearten (Wohnbau und Stall) werden passive und aktive Kühlungssysteme benutzt.

■ **Passivsystem:** Es existiert das reine und das hybride Passivsystem.

- Rein passive Kühlsysteme: Unter dem Begriff reiner passiver Kühlung versteht man, Systeme, welche ohne zusätzlichen Energieaufwand die Überwärmung von Gebäuden verhindern, z.B.: Außen liegender Sonnenschutz, sommerlicher Wärmeschutz durch ausreichende Isolierung, vor allem des Daches, Beschattung, gezielte natürliche Belüftung (z.B. Nacht-/Taglüftung) und Verdampfungskühlung durch Wasserflächen, Brunnen, Begrünung im Gebäudeumfeld oder im Innenraum oder Maßnahmen zur Verbesserung des Mikroklimas.
- Hybride Systeme: Sie werden mit haustechnischen Installationen und natürlichen Kältesenken (kühles Erdreich, kalte Nachtluft, Strahlungskälte etc.) und natürlichen Energiequellen (Wind, Temperaturunterschiede) genutzt (ZIMMERMANN und GLAUSER, 2003).

Reine passive und hybride Systeme werden unter dem Begriff „Passivsysteme“ oder „passive Kühlung“ zusammengefasst. Durch passive luft- oder wassergespeiste Kühlung kann in den meisten Fällen mit einem geringen Energieaufwand ein sehr guter Raumkomfort gewährleistet werden. Prinzipien und Mechanismen der passiven Kühlung mit Luft könnten wie folgt zusammengefasst werden: **1) Luft und Wasser. 2) Druckdifferenz durch Temperatur: der Kamineffekt. 3) Druckdifferenz durch Wind: Staudruckeffekt. 4) Druckdifferenz durch Wind: der Venturi- und Bernoulli-Effekt. 5) Porenlüftung. 6) Verdunstungskälte. 7) Speicherung und Masse** (AUMANN und KORTUS, 2007).

■ **Aktivsysteme:** Sie entziehen dem Gebäude Wärme mittels Kältemaschinen. Für hohe Kühllasten werden diese bevorzugt eingesetzt, weil passive Kühlmethoden ab einer gewissen Kühllast ebenfalls einen nicht zu vernachlässigenden apparativen Aufwand mit sich bringen.

5.2 Mensch und Klima – Komfortbereich

Die Komfortbereiche unterscheiden sich bei den Menschen und Tieren nach Ort und Art. In diesem Abschnitt werden die Bedingungen für das Wohlbefinden des Menschen dargestellt, wie im Anhang (1) Abschnitt A1.1.4 (S. 247) der Komfortbereich der Rinder beschrieben wird.

Der Mensch erzeugt durch die Aufnahme von Nahrung und durch deren Verbrennung Wärme. Diese muss er abgeben, um sich behaglich zu fühlen. Wesentlich für die optimale Verfassung des Menschen ist ein ausgeglichener Wärmehaushalt mit praktisch konstanter Körperkerntemperatur (um 37 °C). Ist diese Bedingung erfüllt, so kann sich der Mensch thermisch wohl fühlen. Das erfordert, dass ein Raumklima geschaffen wird, bei dem sich der menschliche Körper im

Wärmegleichgewicht mit seiner Umgebung befindet. Für die Beeinflussung des thermischen Gleichgewichts des Menschen und damit die thermische Behaglichkeit gelten nach FRANK (1975) die folgenden Faktoren: Lufttemperatur, Umschließungsflächentemperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte, sowie vom Menschen abhängig, Tätigkeitsgrad und Bekleidung. Die Abbildung 5.01 zeigt die Wärmeaustauschmechanismen, deren sich der Körper bedient. Die Abbildung 5.02 zeigt die optimalen Werte für Temperatur, Feuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit für den Menschen.

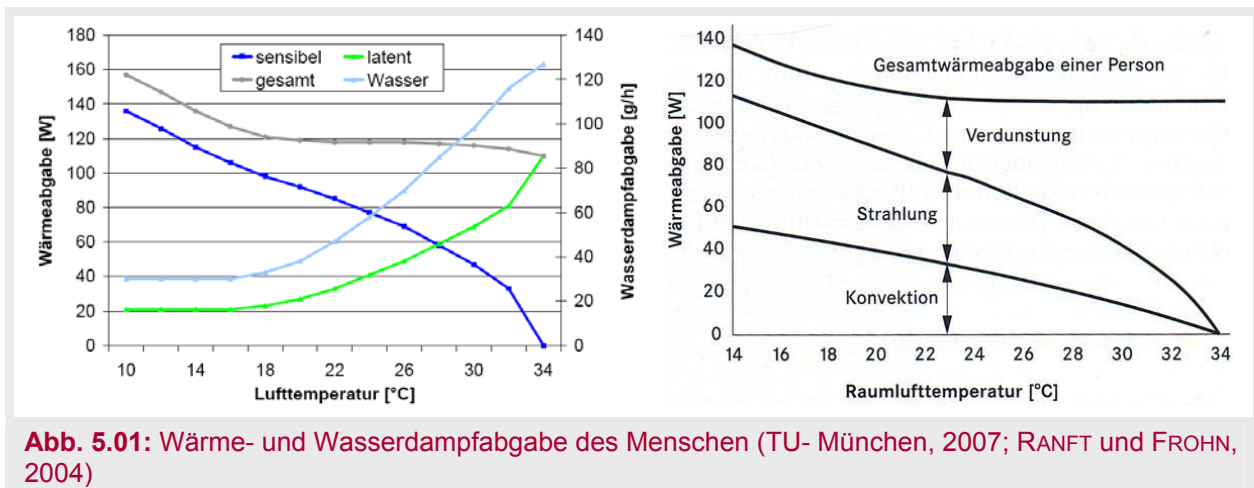


Abb. 5.01: Wärme- und Wasserdampfabgabe des Menschen (TU- München, 2007; RANFT und FROHN, 2004)

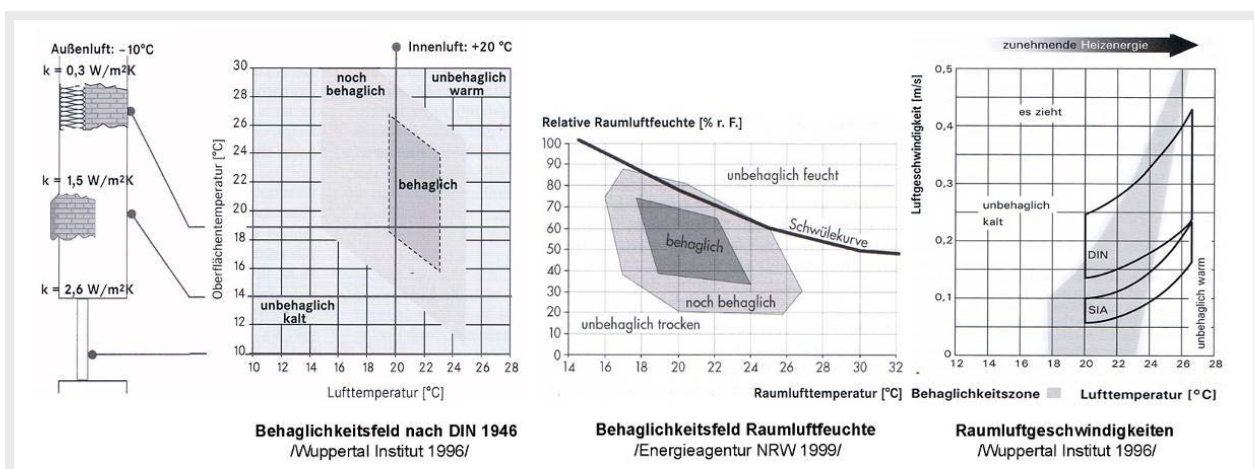


Abb. 5.02: Behaglichkeitsfeld des Menschen (RANFT und FROHN, 2004)

5.3 Schutz vor Sonneneinstrahlung

5.3.1 Bauliche Maßnahmen für menschliche Gebäude

Solargewinn über Wände und Fenster haben besonders an Sommertagen einen großen Einfluss auf den Kühlbedarf des Gebäudes. Die geeignete Bauform zum Schutz vor Sonneneinstrahlung ergibt sich erst in der Gestaltungsphase des architektonischen Baukörpers durch die Optimierung des Schattenwurfes aufs Gebäude. Im Folgenden werden diesbezügliche Maßnahmen ausführlicher verdeutlicht:

A. Die traditionellen Häuser wurden in trocken-heißen Gebieten mit Innenhöfen gebaut. Im Innenhof eines Gebäudes kommt es zur größten Beschattung. Der Schattenwurf im Innenhof

beeinflusst entscheidend die gesamte Temperaturverteilung im Haus. Die Innenhöfe sind meistens schmal, wobei das Verhältnis von Höhe zu Breite des Hofes etwa 1:1 beträgt oder größer. In solche Höfe tritt geringe direkte Sonnenstrahlung ein, besonders morgens und nachmittags. In der Nacht, wenn die Lufttemperatur auf 20 °C abfällt, gelangt kalte Außenluft in den Hof, lagert sich dort in mehreren Schichten ab. Am Morgen bleibt die kühle Luft im Hof. Manchmal wurde der Hof von einem veränderbaren Schattennetz bedeckt, das am Tag geschlossen und nachts offen war. Dadurch wurde die Kühlungswirkung des Hofes erhöht (Abb. 5.03) (SCHNEIDER, 1985).



B. Die Häuser sind häufig in heiß-trockenen Gebieten nach außen geschlossen und nach innen geöffnet. Die Verwendung von wenigen und kleinteiligen Fassadenöffnungen verhindert das Eindringen der direkten Sonneneinstrahlung ins Gebäude. Fenster mit größeren Flächen nur wo es erforderlich ist, können durch die Selbstverschattung beschattet werden. Anhand von horizontal auskragenden Bauteilen, Dachüberständen und Vorsprüngen werden die Gebäudefassaden mittags an heißen Sommertagen wirksam beschattet. Tiefe, versetzte Loggien und seitlich geschlossene Balkone bieten noch mehr Schutz vor Sonneneinstrahlung, v.a. genau dort, wo die Fassadenöffnungen liegen (Abb. 5.04 und 5.05) (LIPPSMEIER, 1980).



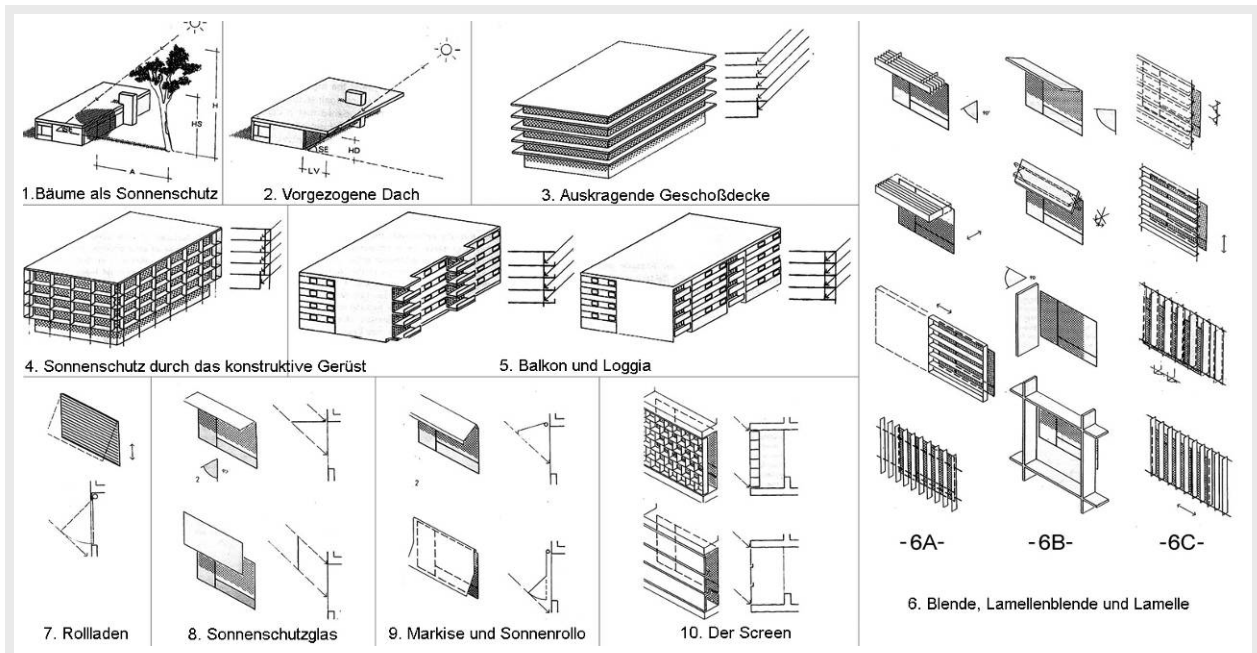


Abb. 5.05: Verschiedene Methoden zur Selbstverschattung der Gebäude (DANZ, 1967)

C. Der Selbstschattenwurf durch Beschaffenheit der Fassadenoberfläche eignet sich für Fassaden, deren Oberfläche stark besonnt oder strahlungsexponiert ist. Durch raue Textur bzw. Struktur der Fassadenoberfläche kann man eine große Beschattung auf einer geschlossenen Wand erreichen. Bestimmte Arten von Ziegelverband und Fassadendetails, wie z.B. vorgelagerte oder versenkte Ziegel, bieten Schatten für mehr als die Hälfte der gesamten Wandfläche (Abb. 5.06) (SAYED, 1999).

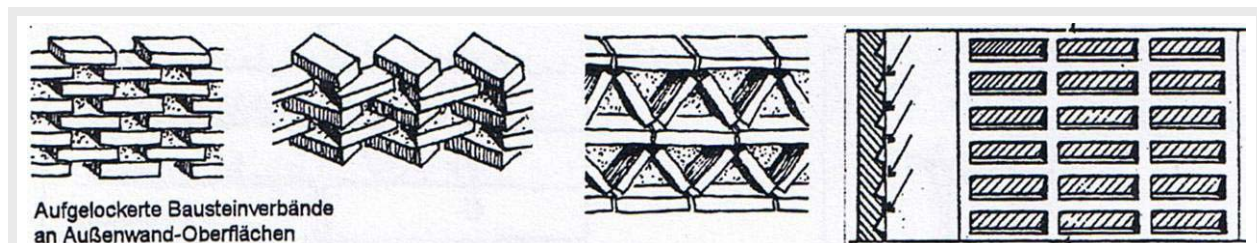


Abb. 5.06: Selbstbeschattung durch raue Struktur von Fassadenoberflächen (BANSAL et al., 1994 (In: Sayed, 1999))

D. Durch die Selbstverschattung auf dem Dach kann die Sonneneinstrahlung verringert werden. Zugleich bieten gewölbte und gekuppelte Dächer teilweise Schattenbereiche auf dem Dach, was die Sonnenstrahlungsintensität pro Flächeneinheit verringert.

E. Die thermischen Bedingungen im Gebäudeinneren hängen vor allem vom Wärmeaustausch zwischen der Außenhülle und der engeren Umgebung ab. Die Vorrichtungen zur Beschattung der äußeren Gebäudehülle; Dächer, Fassaden und Öffnungen sind in allen heißen Gebieten grundsätzlich notwendig. Eine wirksame und praktische Beschattung der Dächer ist durch die folgenden Maßnahmen zu erreichen.

- **Dachbeschattung:** Das besonnte Gebäudedach ist im Sommer der maximalen Sonneneinstrahlung ausgesetzt und muss daher beschattet werden. Bei der Dachbeschattung soll

mittels einer Außenvorrichtung darauf geachtet werden, dass das Dach vom Nachthimmel möglichst nicht abgeschirmt ist, um die nächtliche Dachauskühlung durch Abstrahlung in den Nachthimmel zu fördern (BANSAL et al., 1994). Das könnte entweder durch eine bewegliche Dachkonstruktion wie leichte Zeltdächer oder anhand eines besonderen Schattengitters erreicht werden.

- **Beschattungsdächer:** Die Beschattungsdächer über Gebäuden bieten unmittelbaren Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung mit maximaler Höhe in Sommertagen. Der Sinn dieser Methode besteht in der Schaffung einer großen Schutzstruktur, die aus horizontalen Beschattungsflächen besteht und von Pfosten getragen wird. So entsteht eine große überdachte Grundfläche, auf der sich die verschiedenen Einzel- oder Gruppenbauten, unabhängig vom Sonnenstand, frei anordnen lassen (JOURDA und PERRAUDIN, 1992). Die besonnte Haut der Schattendächer wird durch die direkte Einstrahlung stark aufgeheizt. Um das zu vermeiden, soll die notwendige Luftumspülung durch die Schattendachhaut nicht verhindert werden (OTTO und GILL, 1984). Daher sollen die Dächer so gestaltet werden, dass ihre ungeschlossene Form und luftdurchlässige Haut die natürliche Konvektion gewährleisten. Außerdem sollen sie aus leichten bzw. wärmespeicherunfähigen Materialien sein und ihre Oberfläche helle und reflektierende Farben aufweisen. Um diese Dächer anzuwenden, müssen sie erst vereinfacht werden, wenn sie sich aus kostengünstigen und örtlichen Materialien herstellen und an die vorhandenen technischen Bedingungen anpassen lassen. In diesem Fall könnte das Membrandach benutzt werden. Textile Membrane aus hochfesten beschichteten Polyester- oder Glasgeweben eröffnen neue Dimensionen im Baubereich (Abb. 5.07) (SAYED, 1999).

Das Material, das sich durch eine hohe Lichtdurchlässigkeit und Flexibilität sowie ein geringes Flächengewicht bei hoher Zugfestigkeit auszeichnet, bietet weitere Vorteile: **a)** Lastabtragung, **b)** stützfreie Überdachung von großen Flächen, **c)** Schutz gegen Witterungseinflüsse, **d)** Trennung von Innen- und Außenklima bei nach außen abgeschlossenen Innenräumen, **e)** Lichtdurchlässigkeit und **f)** ressourcenschonendes Bauen.



Abb. 5.07: Membrandach - Kambodscha
(www.avarus.de)

F. Zum Schutz vor Sonnenstrahlung in heiß-trockenen Gebieten sollten die Außenwände und Dächer mit reflektierender Oberfläche und zurückstrahlend sein. Die Menge der langwelligen Strahlen sowie der durch die verschiedenen Flächen der Umgebung diffus reflektierten Sonneneinstrahlung ist von der Art der Oberflächen und den Materialien abhängig. Tabelle 5.01 zeigt die Reflektion einiger Materialien und behandelter Oberflächen für die gesamte Sonneneinstrahlung bei diffuser Reflektion in Prozent. Diese ist für die Planung und Entwürfe der Gebäude von großer Bedeutung, da durch künstliche Veränderungen der Oberflächenbeschaffenheit der örtliche Wärmehaushalt beeinflusst werden kann. Die einfachste, billigste und wir-

kungsvolle Methode, die Außenoberfläche stark reflektierend (bis zu 80 %) zu machen, war, sie mit hellem, weißem Kalkanstrich zu streichen (LIPPSMEIER, 1980).

Tab. 5.01: Reflexion und Absorption einiger Materialien und Oberflächenbehandlung
(LIPPSMEIER, 1980; * JABBOUR, 1984; ** ESMAY, 1978)

Material	Oberflächenbeschaffenheit	Absorp- tion %	Refle- xion %	Material	Oberflächenbeschaffenheit	Absorp- tion %	Reflexi- on %
Aluminium	poliert	26 **	74	Schiefer	grau	75-90	25-10
	Folie	35-40	65-60	Stein	Felsen	80-85	20-15
	oxidiert	40-65	60-35	Marmor	weiß	40-50	60-50
	Bronze	50-55	50-45	Glas		92 **	8
Anstrich	Aluminium	25-55	75-45	Asphalt	Bitumenfilz	85-95	15-5
	gelb	50	50	Beton		60-70	40-30
	hellgrau	70-80	30-20	Sand	weiß	40	60
	hellgrün	50-60	50-40		silber	70-90	30-10
	hellrot	65-75	35-25		trocken*	70-80	30-20
	schwarz	85-95	15-5		nass*	80-90	20-10
	weiß, Hochgl.	20-30	80-70	Erde*	trocken*	75-90	25-10
	weiß, Kalk	10-20	90-80		nass*	90	10
Asbestzement	neu od. weiß	40-60	60-40		Felder	70-85	30-15
	Schieferplatte	80-95	20-5	Grüne Felder*		85-95	5-15
	alt	70-85	30-15	Grüne Blätter*		65-75	35-25
Ziegel (abhängig von der Farbe)*		50-75	50-25	Dunkler Wald*		95	5
Dachziegel	rot	60-75	40-25	Gras	nass	80	20
Holz	Kiefer od. neu	40-60	60-40		trocken	65-70 *	35-30 *
	Hartholz	85	15	Wasserfläche*	Meer /See	90-95	10-5
Kupferblech	poliert	18 **	82				
	neu	30 **	70	Stadtfläche*		90	10
	matt	65	35	Wüste*		70-75	30-25
Verzinktes Eisenblech	neu	65-70	35-30	Weißer Farbe auf Aluminium		20 **	80 **
	matt	90-95	10-5	Schwarze Farbe auf Aluminium		94-98**	6-2 **
verzinkter Stahl		30 **	70				

5.3.2 Maßnahmen zur Verminderung des Wärmedurchgangs

Der Wärmedurchgang könnte durch folgende bauliche Maßnahmen verringert werden:

A. Wärmedämmung: Die Bauhülle kann in heißen Gebieten wärmegeklämt werden. Der Erfolg ist jedoch insofern zweifelhaft, da diese Wärmedämmung auch verhindert, dass die einmal eingedrungene Wärme wieder abgegeben wird. Die Wärmedämmschicht sollte an der Außenseite der Bauhülle liegen, damit sich die Dachfläche und die Außenwände selbst nicht zu sehr aufheizen können.

B. Doppelschalige Bauhülle: Diese Maßnahme eignet sich für Dächer und alle der Sonnenstrahlung ausgesetzten Bauteile und Fassaden: Ost-, Süd- und Westfassaden. Die äußere Schale der Doppelhaut hat hierbei die Aufgabe, den Hauptteil der anfallenden Sonnenstrahlung zu reflektieren, um die Wärmeaufnahme zu verringern. Diese Fähigkeit hängt vom Farbzu-

stand, der Oberflächen-Beschaffenheit und Himmelsrichtung ab. Die innere Schale sollte entweder wärmespeicherfähig oder aber wärmegeklämt sein.

Der Einsatz zweischaliger Dächer in der ariden Klimazone zielt vor allem auf Verminderung der Wärmeübertragung an den Innenraum unter instationären äußeren Verhältnissen, d.h. sommerlichen, periodisch schwankenden Strahlungs- und Lufttemperaturen (AKRAA, 1998). PFLAUM (1990) hat untersucht und festgestellt, dass zweischalige Dächer in der trocken-heißen Klimazone verwendet werden müssen. Die Verwendung einer doppelschaligen Dach Konstruktion dient dazu, die Innentemperatur niedrig zu halten.

Die Konstruktion wirkt durch eine große Reflexionsfähigkeit der äußeren Dachschalen und eine möglichst gute Durchlüftung, die durch geneigte Dächer mit Hilfe des natürlichen, konvektiven Sogeffektes gewährleistet werden kann. Dabei fördert eine Austrittsöffnung an der höchsten Stelle des Daches den Abzug der warmen Ventilationsluft (Abb. 5.08).

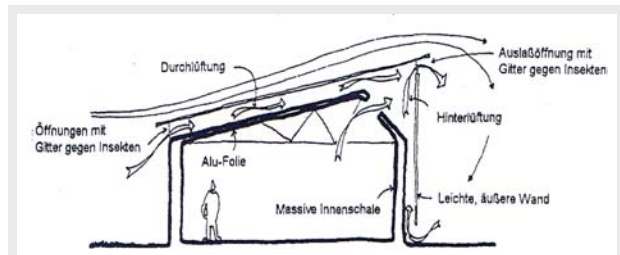


Abb. 5.08: Die Binnenlüftung der Außenhülle des Gebäudes (MOORE, 1993; WEBER, 1983)

Das Unterbringen einer emissionsarmen Alu-Folie als Unterdeckung kann zugleich die Wärmedämmwirkung des Daches optimieren, genauso wie eine 2,5 cm dicke Dämmschicht (TINKER und LAMBERTS, 1992). Das untere Schalende des Daches wird hier entweder als abgehängte Decke ausgeführt oder auf eine tragende leichte Konstruktion eine zweite, ebenfalls möglichst schwache Decke aufgebracht (Faserzement o.ä.).

Bei doppelschaligen Wänden mit Hinterlüftung kann durch Konvektion eine bessere Kühlung als bei Dächern erzielt werden, wo die aufgewärmte Luft durch möglichst hoch liegende Öffnungen entweicht und von unten kühlere Luft nachströmen kann. Lehm- und Naturstein lassen sich für die Außenschale in gleicher Form der Innenschale mauern. Die äußeren Schalen sind jedoch meist dünnwandig und bestehen aus geeigneten leichten Platten, die auf einer Tragkonstruktion befestigt sind. Bei einem derartigen zweischaligen Außenwandaufbau fällt der inneren Schale die Aufgabe zu, durch hohe Temperaturträgheit den Wärmedurchgang zum Innenraum hin zu verringern und zu verzögern.

C. Dachbegrünung: Begrünte Dächer, Fassaden, Vorgärten und Höfe können ungesundes Stadtklima entscheidend verbessern. Zur natürlichen Beschattung und Dämmung könnten die ganzen besonnten Gebäudedachflächen und Fassaden mit Hängepflanzen begrünt werden, die im Sommer für einen wirkungsvollen Sonnenschutz sorgen (HILLMANN et al., 1981). Die Temperaturdifferenz wird auf erträgliche 40 °C reduziert und die Lebensdauer des Daches auf das Doppelte verlängert (GEIGER, 1961). Zur Begrünung der Dächer gibt es zwei Arten:

- **Extensivbegrünung:** Sie ist für vereinfachten und dünnen Bodenaufbau geeignet. Die Bepflanzung besteht aus pflegeleichten, niedrigen und flächigen Gehölzen, Sträuchern, Gräsern und Kräutern, die zeitweise sowohl nasse- als auch trockenheitsverträglich sind.
- **Intensivbegrünung:** Dabei handelt es sich um anspruchsvollere Pflanzen (Bäume, Sträucher, Gehölze etc.). Sie sind pflegeintensiver und benötigen differenzierten Bodenaufbau, stärkere Tragwerke und aufwendigere Bewässerungs- und Verankerungsanlagen. Niedrige-

re Bepflanzung erfüllt ökologisch gesehen den gleichen Zweck wie höhere Bepflanzung. Sie hat den Vorteil, dass sie keine aufwendigeren Baumaßnahmen benötigt.

Die positiven Wirkungen einer dichten Fassaden- und Dachbegrünung lassen sich folgendermaßen nach MINKE (2000) sowie MINKE und WITTER (1983) zusammenfassen:

a) Sommerlicher Wärmeschutz: Für ein ausgeglichenes Klima eines Gebäudes ist der Kühleffekt von Gründächern im Sommer noch bedeutender als die Wärmedämmwirkung im Winter. Dies liegt daran, dass aufgrund der Verschattung durch die Vegetation die Sonnenstrahlen das Erdreich nicht erwärmen und dass die Sonnenenergie durch Wasserverdunstung, Reflexion und Aufnahme für die Photosynthese weitgehend aufgebraucht wird.

b) Wärmedämmwirkung: Pflanzenpolster auf Dächern haben eine hohe Wärmedämmwirkung, die vor allem auf folgende Punkte zurückzuführen ist: 1) das eingeschlossene Luftpolster wirkt wie eine Wärmedammschicht; 2) ein Teil der vom Gebäude abgestrahlten langwelligen Wärmestrahlung wird von den Blättern reflektiert; 3) ein dichtes Vegetationspolster hält den Wind von der Substratoberfläche ab; 4) frühmorgens wenn die Außentemperatur am niedrigsten und somit die Temperaturdifferenz und der Wärmeverlust von warmen Innenräumen nach außen am größten ist bildet sich Tau an der Vegetation.

c) Temperaturregulierung: Durch die Verdunstung von Wasser, durch die Wärmespeicherfähigkeit des in der Pflanze befindlichen Wassers entzieht die Pflanze ihrer Umgebung Wärme.

Bei der Verdunstung von einem Liter Wasser werden etwa 2,2 MJ (530 kcal) an Energie verbraucht. Kondensiert der Wasserdampf in der Atmosphäre, so kommt es zur Wolkenbildung, wobei dieselbe Menge an Wärmeenergie wieder freigesetzt wird. Pflanzen können also schon allein durch Verdunstung und Kondensation von Wasser die Temperaturschwankungen des Tag-Nacht-Zyklus reduzieren. Die Abbildung 5.09 zeigt die Ergebnisse von Temperaturmessungen an heißen Sommertagen bei Dächern mit Begrünung. Die Messungen ergaben, dass bei Mittagstemperaturen von 30 bis 35 °C in 10 cm Substrattiefe maximal 20 °C herrschen.

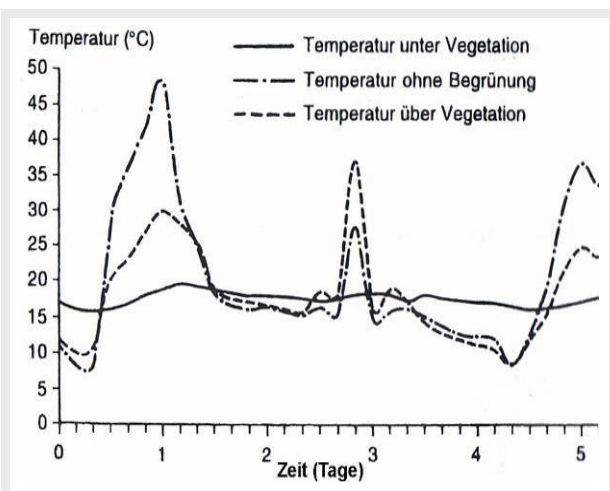


Abb. 5.09: Temperaturverlauf bei einer Dachbegrünung in 10 cm Substrattiefe im Vergleich mit einer unbegrünten Dachfläche und der Lufttemperatur an einem heißen Sommertag (KOLB und SCHWARZ 1999)

d) Feuchtigkeitsregulierung: Pflanzen reduzieren auch Feuchtigkeitsschwankungen. Besonders bei trockener Luft verdunsten sie eine erhebliche Menge Wasser und erhöhen somit die relative Luftfeuchtigkeit. An einem heißen Sommertag verdunstet 1 ha Moorfläche etwa 23 m³ und eine Buche etwa 0,28 - 0,38 m³ Wasser. Pflanzen können die Luftfeuchtigkeit durch Tauwasserbildung verringern. So kondensiert Nebel an Blättern und wird in Form von Wassertropfen ins Erdreich geleitet.

e) Schutz der Dachhaut, Lebensdauer: Die Haltbarkeit aller konventionellen Dächer, seien sie mit Bitumendachbahnen, Ziegeln, Schindeln, Reet, Blech, Wellplatten oder dergleichen abgedeckt, ist durch Witterungseinflüsse begrenzt. Hitze, Kälte, Regen, ultraviolette Strahlung, Wind sowie Ozon und Industrieabgase bewirken mechanische Verletzungen und / oder chemische oder auch biologische Zersetzungsprozesse. Bitumendachbahnen auf Flachdächern müssen im Jahresverlauf Temperaturunterschiede bis zu 100 °C ertragen (-20 °C bis +80 °C). Wird dieses Dach extensiv begrünt, so reduziert sich der Temperaturunterschied auf ca. 30 °C.

Hinzu kommt, dass die Dachhaut vor der UV-Strahlung und vor mechanischer Verletzung vollkommen geschützt ist (Abb. 5.10).

Weitere spezielle Wirkungsweisen des Grasdaches können im Folgenden erklärt werden:

a) Kühlwirkung bei intensiver Sonneneinstrahlung durch Wärmeverbrauch für die Verdunstung; **b)** Reinigung und Anreicherung der Luft mit Sauerstoff und Feuchtigkeit; **c)** Staub- und Schmutzpartikel aus der Luft zu filtern und Schadstoffe zu absorbieren; **d)** Schallschutz durch Schallreflexion.

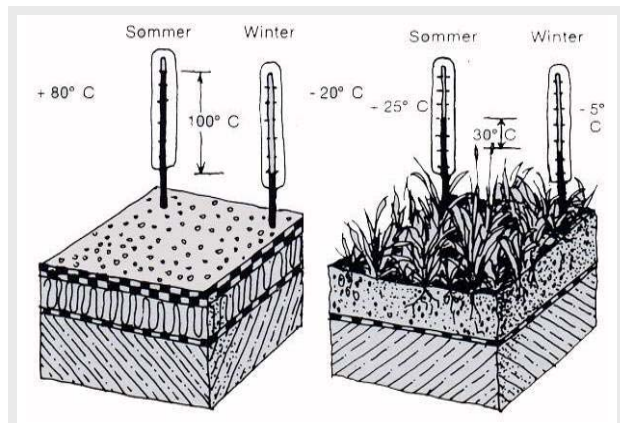


Abb. 5.10: Maximale Temperaturschwankungen bei unbegrüntem und begrüntem Dächern (MINKE und WITTER 1983)

5.3.3 Bauliche Maßnahmen zum Schutz von Sonneneinstrahlung für Rinder-Stallbauten

5.3.3.1 Schutz gegen die Strahlungswärme

In einigen Klimabereichen ist es von hoher Wichtigkeit, die Tiere vor der Sonne zu schützen. Rinder benötigen in heißen Klimazonen Schatten, um sich vor dem kombinierten Effekt von Sonne und hohen Temperaturen zu schützen (Abb. 5.11). Gegen die auftretende Strahlungswärme aus der direkten Sonneneinstrahlung können Beschattungsmaßnahmen getroffen werden, wie z.B. große Dachüberstände, Beschattung durch Bäume sowie das Anbringen von Markisen, Fensterläden, Rollläden usw. Weiterhin kann die Außenhaut (Außenwände und Dächer) als zweischalige Konstruktion ausgeführt werden, wobei die Außenschale hinterlüftet wird (TVT, 2005; PIOTROWSKI, 1986).

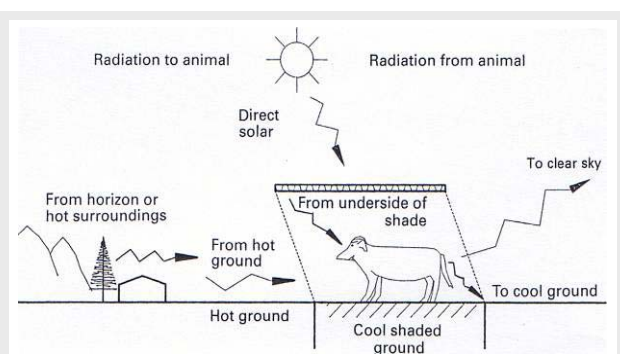


Abb. 5.11: Wege der Strahlung beim Wärmeaustausch zwischen den Tieren im Schatten (WATHES und CHARLES, 1994)

Bei Weide- und Stallhaltung muss für alle Tiere die Möglichkeit bestehen, schattige Bereiche aufzusuchen (thermoregulatorisches Verhalten). Sind keine natürlichen Schatten-spender (Bäume, Büsche) vorhanden, müssen einige künstliche Dächer aus leichten Baumaterialien errichtet werden. Eine Verbesserung zum Schutz vor Hitzestress kann durch die Beschattung der Ställe selbst erzielt werden. Beschattungsdach, wie in der Abbildung 5.12 dargestellt.



Abb. 5.12: Ein riesiges Dach aus Blech spendet eine große Schattenfläche für einen Milchviehstall in Kalifornien – USA (www.albersdairyequipment.com)

Nach WATHES und CHARLES (1994) sind die Hauptargumente für die Schattenversorgung:

- a. Größe des Schattens: Der Schatten muss eine ausreichende Fläche für alle Tiere bedecken.
- b. Bereich des Schattens: Der Schatten muss einen Bereich abdecken, zu dem die Tiere auch Zugang haben. Die Tiere sollten nicht in einem Bereich eingegrenzt sein, so dass sie vom Schattenbereich geschützt werden, schließlich wandert der Schatten im Laufe der Tageszeit.
- c. Höhe der Dächer: Sie spielt eine große Rolle für die Kühlung des Stalles. Dazu haben HATEM et al. (2006) die Einflüsse von Dachhöhe und -ausrichtung auf das Mikroklima von Kuhställen sowie auch ihren Einfluss auf die Milchproduktivität untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die Differenz zur Maximaltemperatur infolge größerer Dachhöhe (von 5 m auf 8 m) bis zu 5 °C betrug, und das Kühlsystem durch Verdunstung einen signifikanten Einfluss auf das Mikroklima hat. Die Autoren haben festgestellt, dass die ansteigende Stalldachhöhe den Luftstrom unter dem Dach verbessert, was die Maximaltemperatur unter dem Dach absenkt. Steigende Dachhöhe verbessert die Effizienz der Kühlung und das Mikroklima unter heißen Klimabedingungen. Infolgedessen steigt die Milchproduktion.
- d. Orientierung zum Schatten: Der Schatten auf der Nord-Süd-Achse wandert über ein größeres Areal als ein Schatten auf der Ost-West-Achse. Der Vorteil der Nord-Süd-Orientierung ist, dass der größte Teil des Bodens tagsüber dem Sonnenlicht ausgesetzt ist. Fäkalien und Urin trocknen somit schneller aus. Der Vorteil der Ost-West-Ausrichtung ist, dass große Teile tagsüber im Schatten und somit kühler sind.
- e. Materialien zur Schattengewinnung: Wenn irgendwelche Materialien oder Konstruktionen die Sonneneinstrahlung unterbrechen, wärmen sie sich auf. Die untere Seite der Materialien oder der Konstruktionen heizen sich auf und strahlen dann Hitze ab. Um hohe Temperaturen auf der Unterseite zu vermeiden, ist es eine Frage der ganzheitlichen Isolierung. Weitere Vorteile bekommt man, wenn die Oberfläche reflektierend und der Boden absorbierend ist.

Die Bepflanzung hat sich um die Ställe mit schnell wachsenden Pflanzen gut bewährt (Büsche und Gehölze z.B. Wilder Wein als Gebäudebeschattung bzw. -begrünung). Die Höhe der Büsche und Gehölze sollte 3 bis 4 m erreichen. Sie bewirken eine größere Beschattung gegenüber

einer Baumbepflanzung im Bereich der Stallwände. Frei stehende Ställe ohne Bepflanzung erfahren über die Sonneneinwirkung auf die Außenwände und das Dach eine höhere Aufheizung.

5.3.3.2 Schutz gegen die Wärmeeinstrahlung

Schutz gegen indirekte Sonnen- und Wärmeeinstrahlung kann durch eine freie Lage des Gebäudes erreicht werden sowie durch Reduzierung wärmeabsorbierender und wärmespeichernder Flächen in der näheren Umgebung der Gebäude mit Hilfe geeigneter Eingrünung (PIOTROWSKI, 1986).

Gegen die auftretende Transmissionswärme infolge direkter Wärmeeinstrahlung lassen sich Dämmungen an den Außenwänden und Dächern anbringen. Bei starker Sonneneinstrahlung am Tag mit großen Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht könnten die Außenwände aus schwerer Bauweise ausgeführt bzw. Erdaufwallungen an den Außenwänden angebracht werden (PIOTROWSKI, 1986). Bei Dachflächen trägt sie wesentlich zur Aufheizung des Stalles bei, wenn sie nicht wärmegeklämmt ist (TVT, 2005).

An heißen Tagen muss der Wärmeeintrag berücksichtigt werden. Wenn die Dachtemperatur zwischen 35 und 60 °C bei ungedämmtem Dach eines Stalles mit $U = 3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ und bei einer Dachfläche von 8 -10 m²/Kuh erreicht, beträgt der Wärmeeintrag Q_T (Transmissionswärme) 165 bis 990 W/Kuh und Q_R (Radiation) 50 bis 1200 W je nach Baustoff und Temperatur (Tab. 5.02). Aber bei gedämmtem Dach mit $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ beträgt die Q_T (Transmissionswärme) von 30 bis 150 W. Der Wärmeeintrag (Transmission und Radiation) durch das Dach ist neben der sensiblen Wärme bei der Luftvolumenstromermittlung mindestens beim ungedämmten Dach kumulativ zu berücksichtigen. Um den Wärmeeintrag durch das ungedämmte Dach auszugleichen, ist der vier- bis fünffache tierphysiologisch notwendige Sommerluftvolumenstrom erforderlich (HERKNER et al., 2002).

Für den Schutz gegen Wärmeeinstrahlung kann das Stalldach durch verschiedene Maßnahmen ausgestattet werden, z.B. durch Dachbegrünung und eine spezielle Dachkonstruktion.

Tab. 5.02: Wärmeeintrag durch ungedämmte Dächer und daraus resultierende Luftrate je Kuh (HAIDN et al., 2008)

Temperatur über dem Dach [°C]	35	40	45	50	55	60
W/Kuh bei 10 m ² Dachfläche	165	330	495	660	825	990
Luftrate [m ³ /Kuh/h]	174	348	521	695	869	1043

A. Nutzung einer Dachbegrünung

Der Einfluss der Dachbegrünung auf die Raumtemperatur in landwirtschaftlichen Gebäuden wurde durch GEORG (2007) untersucht. In der Milchviehanlage der Versuchsstation der FAL Braunschweig wurde auf einem von zwei gleichgroßen und parallel ausgerichteten Milchviehställen mit Faserzementdächern diese spezielle Gründachvariante aufgebracht (Abb. 5.13). Als neuartige Lösung zur Kühlung des Stalles wurde ein Sumpfpflanzendach gewählt, das vom Sächsischen Textilforschungsinstitut (STFI) in Chemnitz entwickelt wurde.

Die Auswertung der Stallklimadaten zeigt, dass mit der gewählten Art der Steildachbegrünung durch Sumpfpflanzen eine Temperaturabsenkung im Stall von 5 °C erreicht werden kann. Die Temperaturen (Mai 2006) im begrünten Stall betrugen maximal 25 °C, während das Vergleichsgebäude etwa 30 °C in der Nachmittagsphase verzeichnet. Abbildung 5.14 stellt den tageszeitlichen Temperaturverlauf im Mai 2006 für zwei baugleiche Stallgebäude mit gleicher Tierbelegung dar.

Die Differenz von 5 °C konnte auch an warmen Tagen von Juni bis September zwischen beiden Ställen gemessen werden. Ein Vergleich der Temperaturen der Dachunterseiten von Gründach und Standard mit Faserzement ohne Gründach zeigt Temperaturunterschiede von 25 – 30 °C, die sich letztlich auf die Stallinnentemperatur auswirken. Durch das grüne Dach wird die Strahlungsenergie weitgehend abgeschirmt. Die Sumpfpflanzen werden durch die Sonneneinstrahlung zusätzlich zur Atmung angeregt, wodurch Verdunstungskälte entstehen kann (Georg, 2007).

Einige Beispiele für Dachbegrünung sind in der Welt weit verbreitet, wie z. B. in der Abbildung 5.15 ist ein Beispiel aus der Dominikanischen Republik dargestellt.

B. Dachgestaltung und -konstruktion

Das Dach hat im Stall mit der Wand unterschiedliche Funktionen zu erfüllen. Es dient als Schattenspender an heißen Sommertagen und als Schutz vor Niederschlägen. Es ist allerdings nicht nur Witterungseinflüssen ausgesetzt, sondern unterliegt auch den Einflüssen aus dem Tierbereich. Für diesen Fall sollten hier Material und Konstruktion so gewählt sein, dass keine Bauschäden durch Kondenswasserbildung entstehen und das



Abb. 5.13: Milchviehanlage der Versuchsstation der FAL in Braunschweig. In den beiden Fotos wurde die rechte Stallhälfte begrünt, die linke im Originalzustand belassen

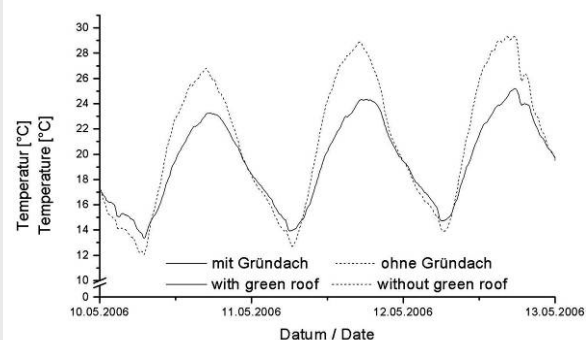


Abb. 5.14: Stallinnentemperatur der Gründach-Variante und der unbegrünten Variante (GEORG, 2007)



Abb. 5.15: gegrüntes Dach für Moderner Rinderstall, Barahona – Dominikan. Rep.

Stallklima nicht ungünstig durch zusätzliche Erwärmung beeinflusst wird. Zur Erreichung des Wetter- und Sonnenschutzes eignen sich grundsätzlich alle Dacheindeckungsmaterialien. Hierbei muss je nach Auswahl die Unterkonstruktion unterschiedlich ausgeführt werden. Dabei gibt es hier zwei Dachsysteme:

■ Leichtbaustoffe: Blechdach - Membrandach

Beim Einbau von Lichtelementen im Dach, wie z.B. Trapezblechen (Abb. 5.16), muss für den sommerlichen Wärmeschutz berücksichtigt werden, dass diese Wärmezugewinne nach sich ziehen und das Stallklima negativ beeinträchtigen können. Fest steht, dass ein dunkles Material die Wärmestrahlung der Sonne stärker absorbiert als ein helles Material. Für die Oberflächentemperatur bedeutet dies ein Ansteigen der Temperaturen am Material.

Der Nachteil heller Dacheindeckungen ist allerdings die größere Reflektion des Lichtes und damit auch die schlechtere Anpassung an die Landschaft. Wird unter einer Dacheindeckung eine Holzverschalung angebracht, so hat diese den Vorteil, bei heißen Außentemperaturen die Strahlungswärme nach unten abzumindern, denn die Wärmeleitfähigkeit von Holz ($0,13 \text{ W/mK}$) ist wesentlich geringer als die von Trapezblechen (60 W/mK). Faserzementplatten ($0,58 \text{ W/mK}$) und Ziegel ($0,50 \text{ W/mK}$) sind ebenfalls günstiger als Bleche (Ldw. Kammer Rheinland-Pfalz, 2006).

Eine neue Idee für den Offenrinderstall mit Membrandach wurde von BOCKISCH (2005) vorgeschlagen. Um den Aufwand für das geschlossene System zu reduzieren und dennoch die Möglichkeit von kontrollierten Abluftvolumenströmen zu haben, wurde eine kegelförmige Dachkonstruktion aus textilen Kunststoffmaterialien (Membrandach) für einen Offenstall vorgeschlagen (Abb. 5.17).

Mit dieser geänderten Dachkonstruktion ist eine gute Grundvoraussetzung vorhanden (selbständig ohne Seitenwände und Zwangslüftungsanlagen), am Hochpunkt einen kontrollierten Abluftvolumenstrom zu erreichen.

Damit könnte dann wiederum eine Wärmerückgewinnungs- und Abluftrecyclingtechnik eingesetzt werden. Diese Ausgangsvoraussetzung wird erreicht durch die großen Höhendifferenzen - im Vergleich zur üblichen Satteldachkonstruktion - zwischen Lufteintritt und Abluftaustritt (Hochpunkt) sowie der kegelförmigen Konstruktion. Durch diese beiden wichtigen konstruktiven



Abb. 5.16: Die Trapezblecheindeckung am Futtertisch wurde hier kostengünstig mit einfacher Konstruktion bewerkstelligt (Ldw. Kammer Rheinl.-Pfalz, 2006)

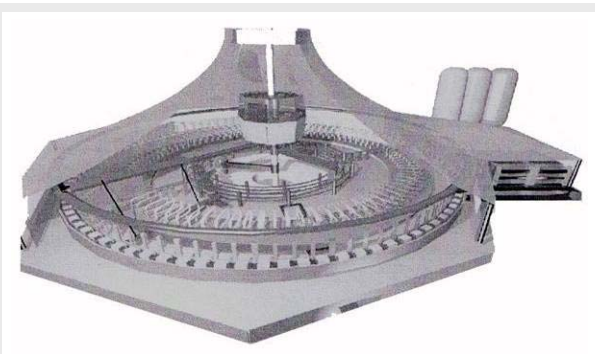


Abb. 5.17: Schematische Darstellung von Gebäuden (Stall) mit kegelförmiger Dachkonstruktion – hier ausgeführt als Hochpunktmembranen aus textilen Kunststoffmaterialien (AgrarSystem und CENO-TEC www.agrar-system.de (In Bockisch, 2005))

Grundvoraussetzungen werden durch die Thermik im oberen Bereich des Daches in der Regel relative hohe Abluftgeschwindigkeiten erreicht. Dieses vorgeschlagene System kann als zukünftige Lösungsmöglichkeit für den modernen Offenstall in heißen Gebieten gelten. Weitere praktische Beispiele für Ställe mit Membrandach könnten aus den USA übernommen werden (Abb. 5.18).

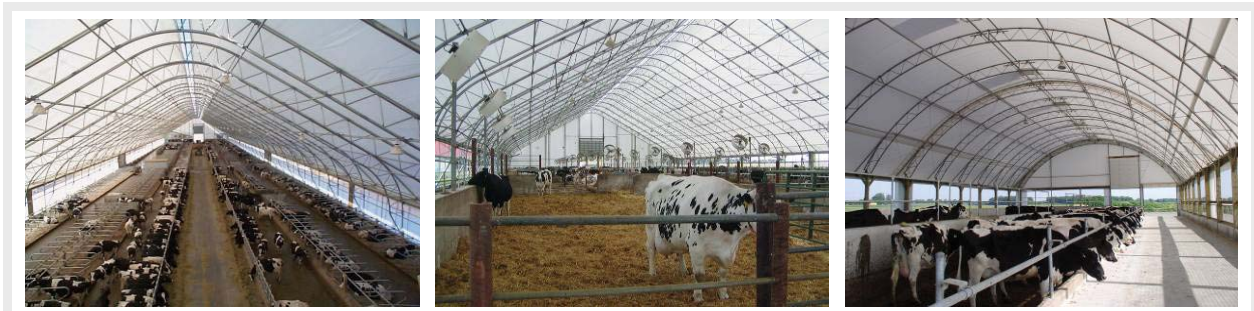


Abb. 5.18: Beispiele des Membrandaches für einen Milchviehstall – Eden-WI / USA (www.coverall.net)

■ Schwere Baustoffe: Lehm Dach

Im Hinblick auf die im ländlichen Raum der ariden Entwicklungsländer herrschenden technisch ökonomischen und klimatischen Gegebenheiten stellt das „kuppelförmige Dach“ eine gute Alternative zur Vermeidung des Hitzestresses dar (Abb. 5.19). Generell bringt die Anwendung derartiger Dachformen nachstehende Vorteile mit sich: **1)** Reflektierung und Streuung der einfallenden Sonnenstrahlen in verschiedenen Winkeln, was dazu führt, dass die absorbierte Strahlenmenge vermindert wird; **2)** Vergrößerung des Raumvolumens und Erhaltung der frischen und kühlen Luft; **3)** Einsparung des kostbaren Bauholzes; **4)** geringere Anfälligkeit gegen tierische Schädlinge und Pilzbefall; **5)** Drosselung von Regenwasserschäden infolge schnelleren Wasserabflusses (AKRAA, 1998).



Abb. 5.19: Kuppelhäuser in einem Dorf bei Aleppo - Syrien

5.4 Gebäudekühlung durch Lüftung

5.4.1 Natürliche Lüftung zur Kühlung von menschlichen Gebäuden

Für heiß-trockene Klimagebiete ist die Entlüftung geeigneter als Belüftung, besonders an Sommertagen, wenn die Innenräume des Gebäudes überwärmt sind und die Außentemperatur auch bei höheren Werten liegt. Deshalb soll sich die behagliche Gebäudebelüftung nur auf die Zeiten beschränken, in denen die Außentemperatur unter 32 °C liegt (höchstensfalls bei 34 °C) und die natürliche Belüftung mit einer Geschwindigkeit von 1,5 - 2 m/s eine angenehme Kühlung bzw. eine thermische Innenbehaglichkeit gewährleisten kann (GIVONI, 1991 (In: SAYED, 1999)). Durch Luftbewegung wird die Wärmeabgabe durch Verdunstung auf der Hautoberfläche

beschleunigt. Je höher die Geschwindigkeit ist, desto größer ist der Wärmeverlust. Dies gilt aber nur so lange, wie die Lufttemperatur niedriger als die Hauttemperatur ist, und die relative Luftfeuchtigkeit noch eine Verdunstung gestattet. Andernfalls wird eine Umkehr, d.h. eine Erwärmung des Körpers eintreten, der Kühleffekt ist nicht ausreichend. Wenn ein Gebäude natürlich belüftet wird, sollen die folgenden Prinzipien und Punkte berücksichtigt werden:

A. Der Luftwechsel muss in den heiß-trockenen Klimazonen zwischen innen und außen an Sommertagen möglichst gering gehalten werden, um den negativen Einfluss der stark aufgeheizten Außenluft (35 - 45 °C) auf die Innenräume zu verhindern.

B. Durch Regulierung der Windgeschwindigkeit und -richtung kann die Erwärmung von windzugewandten Fassaden vermieden werden. Deswegen lassen sich die heißen und staubigen Winde, durch dichte Vegetation, Grünanlagen, begrünte Flechtzäune oder leichte Vorkehrungen weitgehend steuern und abhalten. Luftbewegungen in unmittelbarer Nähe des Bodens können völlig anders sein als in der Höhe. Je rauer die überstrichene Oberfläche ist, desto stärker wird die Luftschicht, die am Grunde haften bleibt, und in der sich Veränderungen in der Geschwindigkeit und in der Richtung ergeben (LIPPSMEIER, 1980). So wirken eine bewegte Topographie, die Vegetation und natürlich auch jedes Gebäude hemmend und umlenkend (Abb. 5.20). Außerdem sollte der Wind über beschattete bzw. relativ kühle Bereiche hinweg (z.B. Wasserflächen, befeuchtete Grasflächen) an das Gebäude gelangen und nicht über aufgeheizte Oberflächen wie Sand, Asphaltbelag oder dunkle Pflastersteine (Abb. 5.21 und 5.22).

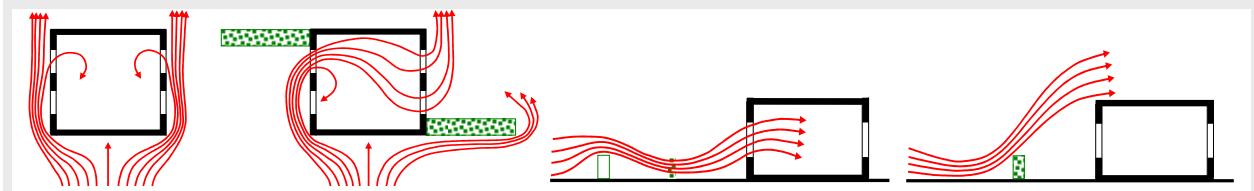


Abb. 5.20: Einfluss der Vegetation auf den Luftstrom (bearbeitet nach LIPPSMEIER, 1980)

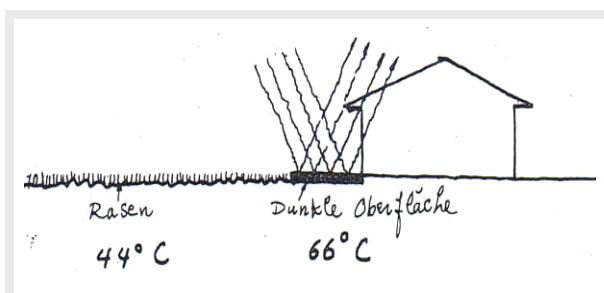


Abb. 5.21: Temperaturmessungen über einer Rasenfläche und einer dunkel-farbenen Terrasse (FITCH, 1950 (In: EL BANA, 1968))

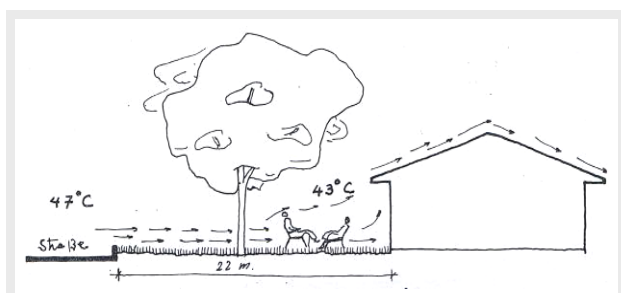


Abb. 5.22: Kombinierte Kühlwirkung des Rasens und der Bäume (FITCH, 1950 (In: EL BANA, 1968))

C. Die optimale Orientierung der Gebäudestellung ist gegenüber der Hauptwindrichtung. Das Gebäude kann 24-stündig durch entsprechend geöffnete Fronten ohne technische Hilfsmittel quergelüftet werden. WRIGHT (1980) hat festgestellt, dass die Luftströmung durch eine Öffnung auf der windzugewandten Seite eines Raumes am wirkungsvollsten ist, wenn die Windrichtung innerhalb von 30° zur Normalrichtung der Öffnung liegt. GIVONI (1991) hat untersucht und bewiesen, dass die beste Lüftung eines Gebäudes erreicht werden kann, wenn mindestens eine

der Fassaden mit einem Winkel zwischen 30° und 80° zur Windrichtung steht (bestenfalls 45° und nicht senkrecht).

D. Die Luftdurchströmung durch die einzelnen Räume des Gebäudes kann direkt oder durch Ablenkung, durch Druckunterschiede oder durch Lamellen an den Öffnungen erfolgen (Abb. 5.23). DREYFUS (1966) stellt ferner fest, dass eine wirksame Durchlüftung nur dann zustande kommt, wenn die Bautiefe eines Hauses nur eine Raumtiefe beträgt.

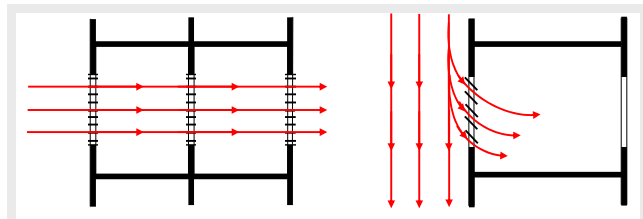


Abb. 5.23: linkes: Öffnungen und bewegliche Lamellen in den Trennwänden begünstigen die Durchlüftung, rechts: Sonnenbrecher können auch die Brise, die parallel zum Gebäude strömt, abfangen (Jabbour, 1984)

Tatsächlich wäre eine solche Konzeption ideal für eine einwandfreie Durchlüftung. Diese ideale Anforderung in heiß-trockenen Ländern ist sehr schwer auszuführen. Um der Sonnenbestrahlung möglichst wenig Oberfläche zu bieten, sollten die Bauten in solchen Klimazonen kompakt bleiben, abgesehen von weiteren funktionellen, ökonomischen und gestalterischen Gründen. DREYFUS schlägt jedoch wieder ein weiteres Hilfsmittel zur Durchlüftung vor, indem er Öffnungen mit beweglichen Lamellen in den Trennwänden vorsieht.

E. Höhere Gebäude werden in den oberen Geschossen in der Regel besser durchlüftet, da hier die Luftbewegung intensiver als am Boden ist. So ergeben sich hinter hohen Baukörpern Wirbel und gegenläufige Luftströmungen, die an niedrigeren, dahinter befindlichen Gebäuden eine Durchlüftung entgegengesetzt zur Windrichtung bewirken, aber auch als unangenehm empfunden werden (Abb. 1.51). Erst bei einem Abstand zwischen zwei gegenüberliegenden Gebäuden von größer bzw. gleich 7-mal ihrer Höhe, kann der Wind wieder seine ursprüngliche Geschwindigkeit erreichen und ist zum Boden zurückgekehrt (LIPPSMEIER, 1980).

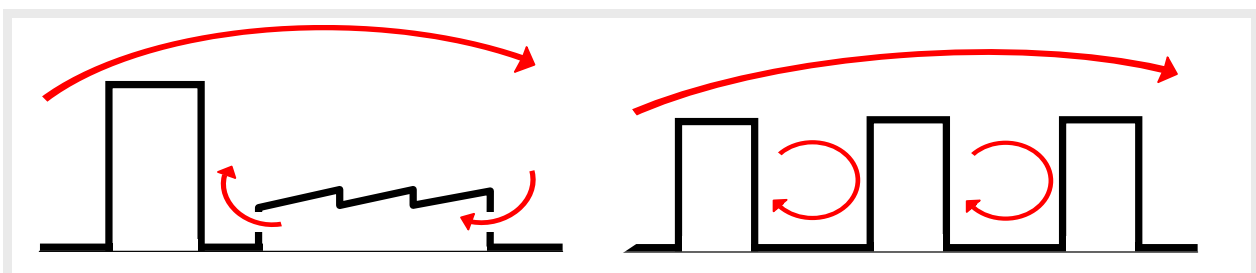


Abb. 5.24: Einfluss der Gebäudehöhe und -anordnung auf die Windrichtung und -bewegung (bearbeitet nach LIPPSMEIER, 1980)

F. Die Abführung der warmen Luft könnte durch unterschiedliche Luftdichte mit sehr einfachen entwurflichen Mitteln erfolgen (HILLMANN et al., 1981). Zur idealen Kühlung sollte die Luft unten zugeführt und oben abgeführt werden. Auf natürlichem Wege kann warme Innenluft einfach am höchsten Punkt des Daches abgezogen werden. Dort, wo sich die warme Luft sammelt, wird sie mit Hilfe des Luftdruckunterschieds und bei Anströmung durch die leeseitige Sogwirkung nach außen befördert. Dafür eignen sich hochliegende Entlüftungsöffnungen, Abzugsrohre oder Dachlüfter. Gleichzeitig gestattet die Bodenlüftung den Zufluss kühlerer Luft aus Bodennähe (LECHNER, 1991).

G. In hohen Innenräumen entsteht eine Temperaturschichtung der Innenluft, solange sie von äußerer Luftströmung nicht gestört wird. Diese Aufschichtung verschiedener Luftschichten soll tagsüber bei wärmespeicherfähigen Gebäuden erhalten werden. Wenn die passiv gekühlte Luft vorhanden ist, soll sie ebenfalls mit geringer Geschwindigkeit so eingeblasen werden, dass sie einen stillen Kaltluftteich bildet (LECHNER, 1991). Um die Wärmestrahlung vom Dach ins Innere des Raumes wirksam zu verhindern, lässt sich eine luftdurchlässige und flexible Dämmschicht einhängen, möglichst in die neutrale Zone zwischen dem Kaltluftteich und der Warmluftglocke.

H. Die stark besonnten Bauteile können konvektiv durch „Kühlrippeneffekt“ abgekühlt werden. Als Beispiel zur effizienten Wärme- und Feuchtigkeitsregulierung anhand des konvektiven Effektes stellen sich die Termitennester dar. Dabei benutzt die Termitenkolonie mehrere passive Kühlmethoden und schafft dafür eine intelligente Konstruktion wie die konvektiven Wärmeströme oder Thermosiphons als Antrieb ihrer Kühlungs- und Ansauglüftungssysteme. Höhe und Umfang eines Termitenbaus spielen bei Wärmeregulierung in Nest und Hügel eine Rolle. Das Nest liegt unterirdisch, der Hügel dient der Atmung. Wind ist der Hauptantrieb für Belüftung. Nach ähnlichem Effekt wurden ebenfalls alte Wohnhäuser in ariden Gebieten mit kühler und feuchter Luft versorgt (Abb. 5.25).

Für Gebäudekühlung kann die natürliche Lüftung durch einfache natürliche Prinzipien wie z. B. Nachtlüftung und Kaltluftsee benützt und mit sinnvollen Methoden, z.B. Windtürme, Erdwärmetauscher und Verdunstungskühlung kombiniert werden. Diese Methoden werden in der nächsten Abschnitten dieses Kapitels beschrieben.

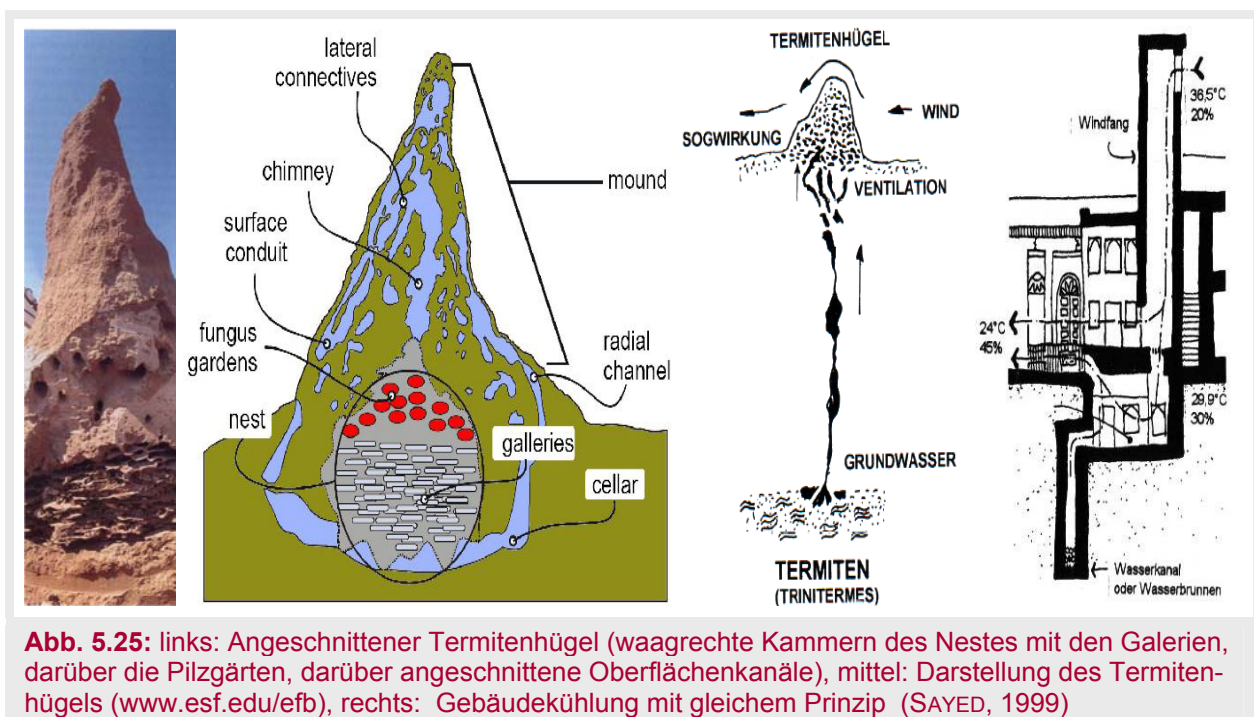


Abb. 5.25: links: Angeschnittener Termitenhügel (waagrechte Kammern des Nestes mit den Galerien, darüber die Pilzgärten, darüber angeschnittene Oberflächenkanäle), mittel: Darstellung des Termitenhügels (www.esf.edu/efb), rechts: Gebäudekühlung mit gleichem Prinzip (SAYED, 1999)

5.4.2 Einführung Stallkühlung mit Lüftung

5.4.2.1 Einführung Kühlwirkung und Lüftungseinrichtungen

Eine gute Belüftung ist von höchster Wichtigkeit in klimatisierten Gebäuden, gerade bei Wiederkäuern, die zu Atemproblemen neigen, wenn keine gute Belüftung gewährleistet ist.

Eine Senkung der Stallinnentemperaturen kann durch Erhöhung des Luftaustauschs erreicht werden (TVT, 2005). Die entsprechenden Luftwechsel spielen eine große Rolle, um Wärme, Feuchtigkeit und Schadgase im Stall abzutransportieren.

Die optimalen Luftgeschwindigkeiten werden häufig in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur empfohlen (HERKNER et al., 2002). Die hohen Luftvolumen reichen bei neuen Ställen für den notwendigen Wärme-, Wasser- und Schadgasabtransport nicht aus. Bei Windgeschwindigkeiten von unter 1 m/s kann in der Regel kein genügender Luftwechsel mehr stattfinden (MAHLKOW, 2007). Andererseits ist zu berücksichtigen: Je mehr die Luftbewegung steigt, umso mehr wird dem Tierkörper Wärme entzogen (Abb. 5.26, Tab. 5.03) (HERKNER et al., 2002; RICHTER et al., 1992).

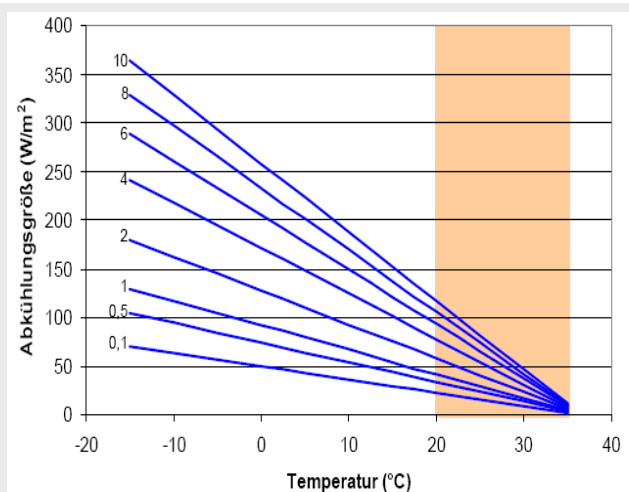


Abb. 5.26: Abkühlungsgröße in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (m/s) (BÄHR et al., 1983 (In: LFL, 2008))

Tab. 5.03: Empfohlene Luftgeschwindigkeit in Rinderställen im Zusammenhang mit Lufttemperatur und Kühlwirkung (RICHTER, 1992; *) HAUSLEITNER, 2001)

Notwendige Luftgeschwin- digkeitserhö- hung	Temperatur	Kühlwirkung ^{*)} (Differenz der Lufttemperatur zum Optimalbereich)	Notwendige Luftgeschwin- digkeitserhö- hung	Temperatur	Kühlwirkung ^{*)} (Differenz der Luft- temperatur zum Optimalbereich)
[m/s]	[°C]	[K]	[m/s]	[°C]	[K]
0,1	≤10	3	0,7	23	-
0,1	13	4 (bei 0,15)	0,8	24	-
0,2	16	5	0,9	25	10
0,3	19	7	1,0	26	-
0,4	20	8	1,2	27	-
0,5	21	-	1,3	28	-
0,6	22	9	2,5	30	-

5.4.2.2 Stallkühlung durch natürliche Lüftung

Die Voraussetzung von entsprechend großen Öffnungen im Gebäude für eine ausreichende Belüftung von einsetzendem Wind oder Wärmeeffekten muss gegeben sein. Verbunden mit den nötigen Öffnungen für Zu- und Abluft ist es ebenfalls wichtig, starke Windgeschwindigkeiten innerhalb des Gebäudes zu vermeiden. Generell werden Öffnungen an hohen (Abluft) und an niedrigen Stellen (Zufuhr) in Gebäuden benötigt. Die benötigte Größe der Öffnungen variiert deutlich und ist abhängig von der Spezies, die beherbergt wird, der Dichte des Besatzes und der typischen klimatischen Bedingungen der Region.

In heißen Klimazonen benötigt man große Öffnungen an hohen Punkten, jedoch sind horizontale Öffnungen nicht machbar. In diesen Fällen benutzt man eine kontrollierte Dachöffnung. Diese erlaubt große Öffnungen an hohen Punkten und kann dann mit Rollläden, einem Sichtschutz oder Drehklappen die Größe regulieren. Abbildung 5.27 zeigt eine solche Anordnung.

Die Stallkühlung kann durch die natürliche Lüftung unter Berücksichtigung der folgenden Maßnahmen unterstützt werden (FISCHER, 2004):

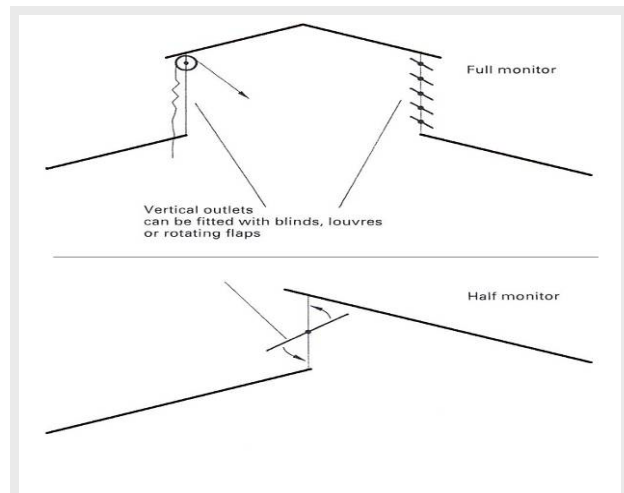


Abb. 5.27: Verstellbare Lufteinlässe in kontrollierten Dächern (WATHES u. CHARLES, 1994)

- Für die Abkühlung der Zuluft werden Luftbefeuchtungen innerhalb des Stalles oder im Vorraum eingesetzt. In Ausnahmefällen werden auch Erdwärmetauscher gebaut. Dabei werden die Temperaturen in tieferen Erdschichten genutzt, durch welche die Zuluft vor Eintritt in den Stall in Rohrleitungen geführt wird (TVT, 2005). Die niedrigeren Temperaturen des Erdreiches werden so zur Kühlung genutzt. Der Vorteil dieser Anlagen liegt darin, dass im Sommer die Zuluft gekühlt und im Winter erwärmt wird.
- Wenn die Außenwindgeschwindigkeit 1 m/s und die Außentemperatur 30 °C erreicht, ist die Sommerlufrate mit 600 m³/h/Kuh zu empfehlen.
- Höhere Kühlwirkungen (z.B. 25 °C) erfordern höhere Lufraten von 1000 - 1500 m³/h/Kuh.
- Bei der Stallplanung müssen hohe, offene Traufen von 4,0 - 4,5 m für hohe Luftvolumen geplant werden.

5.4.2.3 Stallkühlung mit Ventilatoren

Ein technisches Hilfsmittel zur Reduzierung von Hitzestress, zur Erhöhung der Luftwechselraten sind Ventilatoren im Stall (BÖBL, o. A.). Bei Ausfall von Lüftungseinrichtungen oder extremen Witterungsbedingungen (hohe Temperatur mit geringer Luftbewegung) sind zusätzliche Geräte und Notstromaggregate vorzuhalten (TVT, 2005). Für diesen Zweck ist eine spezielle Luftführung zweckmäßig oder das Aufstellen von Zusatzventilatoren im Stall (HEIDENREICH, 2002). Im Hinblick auf die Art des Durchströmens sind die gebräuchlichsten Ventilatorarten:

- **Axialventilatoren** sind in der Regel so aufgehängt, dass sie die Luft nahezu waagerecht in den Raum „werfen“. Die Luft wird in axialer Richtung angesaugt und auch in axialer Richtung weiterbefördert (Abb. 5.28 - links) (KIRSCHNER, 1976).
- **Radialventilatoren** saugen die Luft in axialer Richtung an, aber in radialer Richtung wird diese weiterbefördert (KIRSCHNER, 1976).
- **Deckenventilatoren** fördern die Luft senkrecht nach unten oder nach oben gegen die Stalldecke. Der Einwirkungsbereich am Boden ist relativ klein und liegt „kreisrund“ unterhalb des Ventilators (Abb. 5.28 - rechts und Abb. 5.29) (BÜSCHER, 2004A).



Abb. 5.28: Ventilatoren im Stall sind ein technisches Hilfsmittel zur Reduzierung von Hitzestress. l.: Axialventilatoren, r.: Deckenventilatoren (www.arntjen.com)

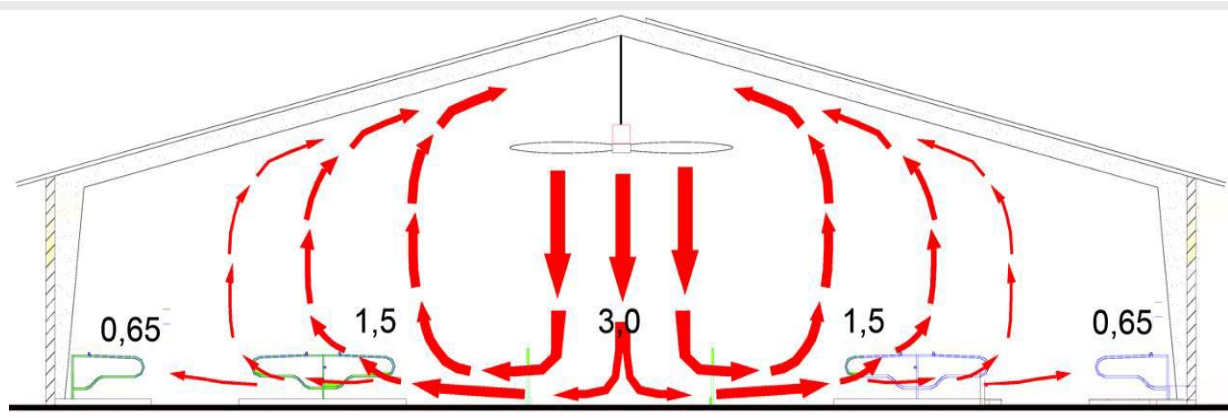


Abb. 5.29: Prinzip der großen Ventilatoren (HAIDN et al., 2008)

5.4.2.4 Stallkühlung mit Tunnellüftung

Dieses System wird in den USA in Milchviehställen gegen den Hitzestress eingesetzt und ist eine bewährte Technik zur Förderung der Belüftung in der Sommerzeit. Die verbrauchte Luft aus dem Stall wird durch den Einbau von langsam laufenden Großraumventilatoren befördert. Das Ziel ist hierbei nicht, die genaue Lüfrate pro Tier zu erreichen, sondern den gesamten Stall mit Frischluft zu durchspülen. Im Laufstall sollte der Lüfter die Luft direkt in den Stall blasen. Mit einem optimalen Kühleffekt wird hier bei Luftgeschwindigkeiten am Tier von 1,0 bis 2,5 m/s gerechnet. Bei einer Stallhöhe von 3 m und einer Breite von 12 m werden Luftvolumenströme bei der Tunnellüftung von bis zu 2630 m³/h Tier erzielt (HAUSLEITNER, 2001). Ein gutes Beispiel für das System wird in der Abb. 5.30 gezeigt.



Abb. 5.30: Milchviehstall aus USA mit Ventilatoren (www.ansci.cornell.edu/prodairy)

In der Milchviehhaltung ist die Tunnellüftungstechnologie relativ neu, dagegen kommt sie häufiger zur Kühlung von Schweine- und Geflügelställen zum Einsatz. Kennzeichnend sind die Lufteinlässe am Eingang und die Absaugventilatoren am anderen Ende (TYSON et al., 2004; GOOCH und STOWELL, 2003). Die Abkühlung der Luft im Tunnel fördert die Ableitung überschüssiger Wärme und Feuchtigkeit aus der unmittelbaren Umgebung der Tiere mittels Konvektion.

Die Tunnelbelüftung allein erreicht eine angemessene zusätzliche Kühlung (Abkühlen) in gemäßigten Zonen (GOOCH und STOWELL, 2003; STOWELL et al., 2001). In den Regionen, in denen zusätzliche Kühlung erforderlich ist, kann diese Technologie mit anderen Kühlsystemen kombiniert werden, wie zum Beispiel Verneblungs- oder Verdampfungskühlung (TURNER et al., 1991).

Durch die Senkung der Zulufttemperatur mittels Verdampfungskühlung wird es der Kuh erleichtert, überschüssige Hitze abzugeben. Untersuchungen zur Verdunstungsleistung der Tunnelkühlung (Tunnelbelüftung mit zusätzlicher Verdampfungskühlung) zeigen, dass die Abkühlung derartiger Technologien ausreicht, um eine gute Wachstumsleistung beim Geflügel zu erzielen (SIMMONS und DEATON, 1988). Dagegen gibt es nur wenige Berichte der Bewertung ihrer Auswirkungen auf den Hitzestress bei laktierenden Milchkühen.

BROUK et al. (2003) untersuchten die Auswirkungen der Tunnel-Verdunstungskühlung an laktierenden Milchkühen im nordöstlichen Missouri und berichteten, dass die Atemfrequenz und die rektalen Temperaturen verringert wurden, wird sie mit der Kühlungswirkung der Tunnelbelüftung verglichen. So gibt es nur wenige Berichte über die Leistung der Tunnel-Verdunstungskühlung in den südöstlichen Vereinigten Staaten und keinen Vergleich ihrer Wirksamkeit mit herkömmlichen Techniken der Kühlung (Schatten, Ventilatoren und Sprinkleranlagen). Die Zielsetzung dieser Studie war, die Wirksamkeit der Verdunstungstunnel-Belüftung für die Kühlung der Milchkühe im Südosten der USA zu bewerten.

SMITH et al. (2006A) untersuchten zwei Gruppen mit je 10 laktierenden Holstein-Friesian. Die erste

Gruppe wurde im Tunnel-Stall gehalten (innen). Die zweite Gruppe ist in dem angrenzenden bedachten Boxenlaufstall unterbracht worden (draußen), die 2001 durch Ventilatoren sowie Sprinkler und 2003 durch Schatten und Ventilatoren gekühlt wurde. Die maximalen Tagestemperaturen waren 2001 innen um $5,2 \pm 0,18$ °C und 2003 um $3,1 \pm 0,2$ °C niedriger als außen.

Obwohl die Verdampfungskühlung die Luftfeuchtigkeit um 22 % erhöhte, waren in beiden Jahren die Kühe in den Tunnelställen um 84 % weniger dem Hitzestress (Temperatur-Feuchtigkeit-Index) ausgesetzt. Die Kühe im System mit Belüftung aus dem Verdunstungskühlungstunnel wiesen im Jahr 2003 um $15,5 \pm 0,56$ weniger Atemzüge je Minute und eine um $0,6 \pm 0,02$ °C geringere rektale Temperatur im Vergleich zum Haltungssystem mit Schatten und Ventilatoren auf.

Die Kühlung von Kühen mittels Belüftung aus dem Verdunstungskühlungstunnel reduzierte 2001 die Atmungsfrequenz um $13,1 \pm 0,78$ Atem/min und die rektale Temperatur um $0,4 \pm 0,03$ °C im Vergleich zum Haltungssystem mit Ventilatoren und Sprengern.

SMITH et al. (2006B) haben auch zwei Gruppen mit je 10 laktierenden Holstein-Friesian untersucht, die im Tunnelstall untergebracht wurden und 2 Gruppen von 10 vergleichbaren Tieren, die in einem angrenzenden natürlich belüfteten Boxenlaufstall untergebracht wurden. Zwei Versuche à 10 Wochen wurden in zwei Jahren durchgeführt: Der erste begann am 25. Juni 2001 und der zweite am 26. Mai 2003 mit Kühen, die außerhalb untergebracht und mit traditionellen Ventilatoren und Schatten allein (2003) oder mit Sprinklern (2001) abgekühlt wurden.

In beiden Jahren reduzierte die Verwendung des Verdunstungskühlungstunnels die Phasen des gemäßigten Hitzedruckes um 84 %. Kühe, die durch Verdunstungskühlungstunnel abgekühlt worden sind, erreichten 12 und 11 % höhere Futteraufnahmen als Kühe, die in den Jahren 2001 und 2003 draußen untergebracht waren.

5.5 Nachtkühlung

5.5.1 Funktionsprinzip

Das Verfahren der Nachtlüftung nutzt die kühle Nachtluft, um thermische Gebäudemassen während der Nacht herunterzukühlen. Dies geschieht dadurch, dass kühle Nachtluft durch offene Fenster, Türen und Lüftungsschächte während der Nacht und bis zum frühen Morgen (z.B. von 20 bis 8 Uhr) durch das Haus zieht, und die gespeicherte Wärme vom Massivbauwerk und den Innenräumen abtransportiert (GIVOINI, 1991; WRIGHT, 1980). Die nächtliche Kaltluft kann man unmittelbar an den massiven Baumassen vorbeiführen. Dickwandige Massivbauwerke werden während der heißen Tagesstunden wie ein Kühlschranks abgeschlossen. Es ist auch möglich, diese kalte Luft in den Innenhöfen von Gebäuden abzulagern, damit ihre Kühlwirkung bis zum nächsten Mittag oder länger bleibt.

Die höhere Luftgeschwindigkeit (durchschnittlich 2 m/s) ist nachts im Sommer notwendig, wenn die maximalen Außenlufttemperaturen angenehm sind. Unter diesen Umständen kann die natürliche Belüftung mit einer Geschwindigkeit von 1,5 - 2,0 m/s eine innere und thermische Behaglichkeit gewährleisten (SAYED, 1999).

Diese Kühlungsmethode ist für heiß-trockene Klimazonen mit großen Tag und Nacht Lufttemperaturschwankungen besonders geeignet. Durch dieses Verfahren wird das Gebäude gekühlt

und man erhält zugleich im Inneren ein angenehmes Klima während extrem heißer Tage (AGAS et al., 1991). Vorteile der Nachtlüftungskonzepte liegen im Vergleich zu aktiven Kühlkonzepten mittels Kältemaschinen in den geringeren Kosten zur Bereitstellung der Kühlenergie, sowie in der Regel geringeren Investitions- und Wartungskosten.

5.5.2 Einführung Kaltluftsee und Nachtkühlung

Ein wichtiger Faktor (in der Hinsicht auf Topographie und Bodenfläche-Wechsel) ist der nächtliche Ausstrahlungsvorgang, der eine kühle Luftschicht erzeugt, die wegen ihres hohen Gewichtes nahe am Boden bleibt. Diese erkaltende und darum spezifisch schwerer werdende Luft beginnt nach den tieferen Stellen des Geländes abzufließen. Man spricht daher von einem „nächtlichen Kaltluftfluss“ und, wo die tiefste Stelle des Geländes liegt, bildet sich durch den Kaltluftfluss ein „Kältesee“. Daher sind in Strahlungsnächten konkave Geländeformen relativ kalt, konvexe relativ warm (ARONN, 1953). Die großen Dimensionen bewirken aber, dass sich an den Hängen Einzelzirkulationen zwischen der erkaltenden Luft am Hang und dem Warmluftspeicher über dem Talgrund einstellen. Dadurch entsteht nur im Talgrund der Kaltluftsee. Eine warme Hangzone bildet sich am Hang, da die bodennahe Kaltluft auf der Hochebene liegen bleibt (Abb. 5.31) (GEIGER, 1961).

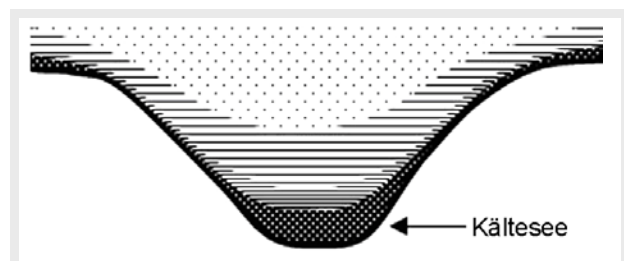


Abb. 5.31: Vorgang der nächtlichen Abkühlung in einem Tal (GEIGER 1961)

5.5.3 Luftkühlung

Die Wärmeabfuhr durch Lüftung wird durch Dauer, Intensität (Luftwechsel), Effektivität der Lüftung und thermisch aktivierbare Speicherkapazität bestimmt. Für die Nachtlüftung müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Der Einfluss der Luftwechselrate kann eine deutliche Rolle auf die Innenlufttemperaturen spielen. Ein Luftwechsel sollte mindestens 2, besser 4 pro Stunde betragen (BINE, 2003). 3 pro Stunde sind optimal für die Nachtlüftung (RANFT und FROHN, 2004).
- Je größer die Geschwindigkeit der nächtlichen Belüftung ist, desto größer ist der Konvektionskoeffizient der Wärmespeichermasse und somit eine größere Kühlleistung. Die günstige Luftgeschwindigkeit von 2 - 3 m/s kann entweder natürlich oder mechanisch erreicht werden.
- Die Außenluft sollte mindestens 2 °C kälter als die Raumluft sein (RANFT und FROHN, 2004).
- Die Nachttemperatur sollte mindestens 5 Stunden unter 21° C liegen (BINE, 2003). An heißen Sommertagen mit größerer Tag- und Nacht-Lufttemperaturschwankung lässt sich durch die nächtliche Belüftung von 20 bis 5 Uhr die Innenlufttemperatur bis zu 10 °C in einer wärmespeicherfähigen Bauhülle senken (GIVONI, 1991).

In den Sommernächten der Monate von April bis Oktober in Syrien sind ca. 10 - 15 K kühlere Lufttemperaturen als am Tag zu verzeichnen (s. Klimadaten von Syrien). Dieses Kühlpotenzial kann in einem Gebäude (Stall) durch eine planmäßige Durchlüftung genutzt werden. Während

einer Nachtlüftungsperiode von 8 - 10 Stunden werden dabei die ersten 5 cm eines massiven Bauteils thermisch aktiviert. Für eine optimale Wirkung ist daher eine große freiliegende Oberfläche wirksamer als einzelne massive Wände.

Ergebnisse aus der Planung zeigen, dass durch Speicherfähigkeit des Materials bei einem 5 – 8 -fachen Luftwechsel eine Absenkung der Raumtemperatur von 2 - 5 K zu erzielen ist.

5.5.4 Bauteilekühlung

5.5.4.1 Prinzip

Die baulichen Elemente des Gebäudes sollen neben ihren tragkonstruktiven und anderen funktionellen Aufgaben als Wärmespeicher dienen. Die Bauteilkühlung nutzt die Gebäudespeichermasse für die Raumkühlung. Für die Bauteilkühlung speziell geeignet sind massive Decken (Beton, Lehm, Ziegel ...). Die Speichermasse am Gebäude in Form von schweren, massiven Außenwänden und Dächern absorbiert tagsüber die Wärme. Die solaren und internen Wärmelasten während des Tages werden zum überwiegenden Teil konvektiv und durch Wärmestrahlung an die Bauteile abgeführt und zwischengespeichert. Die Außenseite der Bauhülle kann nachts eine große Menge von Wärme abstrahlen, damit sie ausgekühlt wird. Diese „nächtliche Kühle“ wird gespeichert und somit eine Überheizung am nächsten Tag verhindert. Das Wärmespeichervermögen der Bauhülle kann also den Wärmeausgleich für den Tag- und Nacht-Rhythmus sowie für kürzere Witterungsabkühlungen gewährleisten.

Die kühle Luft muss möglichst direkt entlang der wärmespeichernden Bauteile strömen (RANFT und FROHN, 2004). Je größer die aktive Oberfläche der massiven Bauteile bzw. Speichermasse (Speichermasse = Rohdichte x spezifische Wärmekapazität) ist, desto gleichmäßiger ist die Innentemperatur und umso besser reguliert sich die Raumlufttemperatur selbst. Durch ihre große Oberfläche und Trägheit reagieren Massivdecken ausgleichend auf Temperaturschwankungen im Raum.

Vom bauphysikalischen Standpunkt heißt es, je dicker die Wand und je größer ihr Wärmespeichervermögen, desto niedriger ist das Temperaturamplitudenverhältnis (TAV) und desto größer ist die Phasenverschiebung (PV) zwischen den Zeitpunkten der höchsten Temperaturen auf den jeweiligen Außen- und Innenseiten der Wand. Für die heiß-trockenen Klimaverhältnisse sollte eine PV des Außenbauteils von etwa 12 h festgelegt werden (SAYED, 1999). Deswegen sollte das Gebäude thermisch schwer sein (Massivbau: Beton, Lehm, Backsteinwände ...) und eine Betondecke sollte nach Möglichkeit unverkleidet sein.

5.5.4.2 Wärmespeicherung der Bauteile

A. Speichermasse der inneren Bauteile

Im Sommer lassen sich die inneren massiven Speichermassen neben den Außenbauteilen durch die kalte nächtliche bzw. frühmorgendliche Belüftung abkühlen. Dafür müssen die inneren Bauteile ebenfalls Wärme abgeben oder aufnehmen können. Besonders für Gebäude mit nicht massiven Außenhüllen oder mit wenigen wärmespeicherfähigen Außenhüllen (z.B. Leichtbauten) kann die innere Wärmespeichermasse als die wirkungsvollste passive Maßnahme zur Kühlung in ariden Zonen betrachtet werden. Dabei ist es zu empfehlen, die eindringende Son-

neneinstrahlung und daraus resultierende schnelle Überhitzung im Hausinneren zu vermeiden. Fußböden als passive Speicher sind wegen der gewünschten Wärmeleiteigenschaften „fußkalt“ und hart (KRUSCHE et al., 1982). Die nicht direkt bestrahlten Fußbodenflächen können zudem als Fußbodenkühlung ausgebildet werden, da sie kaum Wärmeeinstrahlung aufnehmen können.

B. Speichermasse der Außenhülle

Außenwände sind nur als mehrschalige Wände mit einer inneren massiven Schicht für den passiven Wärmeausgleich geeignet. Einschalige Außenwände, selbst aus Leichtziegel, Gas- oder Leichtbeton usw. können den Anforderungen hinsichtlich Dämmen und Speichern nicht gerecht werden und stellen nur einen Kompromiss dar. Mehrschalige Wände hingegen (mit einem inneren, speichernden Tragmauerwerk, einer Dämmschicht und einer Wetterhaut) können gleichzeitig hohe Dämm- und Speicherwerte erreichen (KRUSCHE et al., 1982).

Die Verwendung eines massiven Daches als Speichermasse ist vom Wärmefluss her wichtig. Massivdächer strahlen nachts viel stärker als Wände ab und verbessern tagsüber die Wärmeabsorption in Innenräumen. Die Kaltluft unterm Dach lässt sich dabei mit der Konvektion nach unten transportieren. Die Wärmeaufnahme durch solare Strahlung ist aber am Tag hoch. Daher sollte der Dachspeicher tagsüber beschattet werden. Massive, gewölbte Decken aus Tonsteinen oder Betonelementen bieten sich als passive, aber relativ aufwendige Speichermasse an.

Für das kostengünstige Dachspeicher-System kann man sowohl feste Speichermassen wie Sand, Erde oder Beton, oder Wasserbehälter zur Verbesserung der Speichereffizienz verwenden, wie z.B. wassergefüllte Rohre und Hohlziegel (s. Dachbegrünung).

5.5.4.3 Abstrahlung in den Nachthimmel

Die Abstrahlung in den klaren Nachthimmel ist die Umkehrung der Sonneneinstrahlung während des Tages (WRIGHT, 1980). In einer klaren Nacht kann die Oberfläche jedes warmen Körpers durch Abgabe langwelliger Wärmeabstrahlung ins kalte Weltall mindestens 5 - 8 K unter die Außenlufttemperatur in ariden Regionen auskühlen (GIVONI, 1991). Dieser Effekt ist bekannt in ariden Gebieten und wird von starken nächtlichen Temperaturabsenkungen begleitet. Es müssen alle physikalisch konstruktiven Reserven erschlossen werden, um die Wärmeübertragung an den Innenraum in der Einstrahlphase zu vermindern und zugleich die Wärmeabgabe von Raum und Hülle in der nächtlichen Abkühlungsphase zu fördern (PFLAUM, 1990).

Die ungehinderte Abstrahlung von horizontalen Flächen ist stärker als die von senkrechten Flächen, die vorwiegend mit wärmeren Oberflächen der Umgebung im Strahlungsaustausch stehen (SCHWARZ, 1987). Es ist möglich, jeden Körper, v.a. hier Dächer, weit unter die Lufttemperatur der Umgebung zu kühlen, ca. 6 - 10 K, wenn die abstrahlende Oberfläche bzw. der Radiator zum Nachthimmel gerichtet ist und von benachbarten warmen Körpern abgeschirmt wird. Streicht die nächtliche Kaltluft an dieser kalten Dachfläche vorbei, dann kann sie mit natürlicher Konvektion durch Dachöffnungen direkt in Innenräume des Gebäudes fallen oder in Vor- oder Innenhöfen gespeichert werden (Abb. 5.32). Eine geringfügige Dachneigung kann das Kaltluftfallen wirksam begünstigen (HOLM, 1983). In windigen Nächten wird diese freie Konvektion gestört. Deswegen ist eine transparente 50 -mikronstarke Polyethylen-Folie (PE) (Nachteilig ist,

dass diese PE-Folie kurzlebig und nicht dauerhaft ist, unter starker UV-Strahlung in Wüstengebieten) 10 cm über dem Dach aufzubringen, die als Windschutz funktioniert und zugleich die langwellige (10 μm) Abstrahlung in den Nachthimmel nicht verhindert (SODHA et al., 1986).

Die Verwendung von weiß gestrichenen Wellblechplatten auf dem Dach wurde von GIVONI entwickelt (HOLM, 1983). Am Tag beschatten die Platten das Dach und nachts strahlen sie die Wärme ab und werden als Radiatoren stark gekühlt. An ihren unteren Flächen lässt sich Luft mit natürlicher Konvektion oder mit Hilfe von Gebläsevorrichtungen vorbeiführen und durch Zulassöffnungen im Dach ins Gebäude leiten (Abb. 5.33).

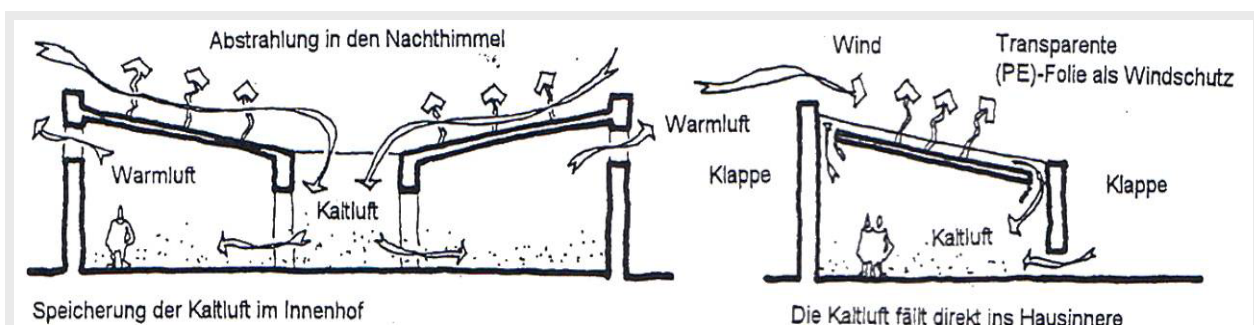


Abb. 5.32: Gering geneigte Dächer als strahlende Körper (Moore, 1993; Sodha, 1986; Holm, 1983 (In: Sayed, 1999))

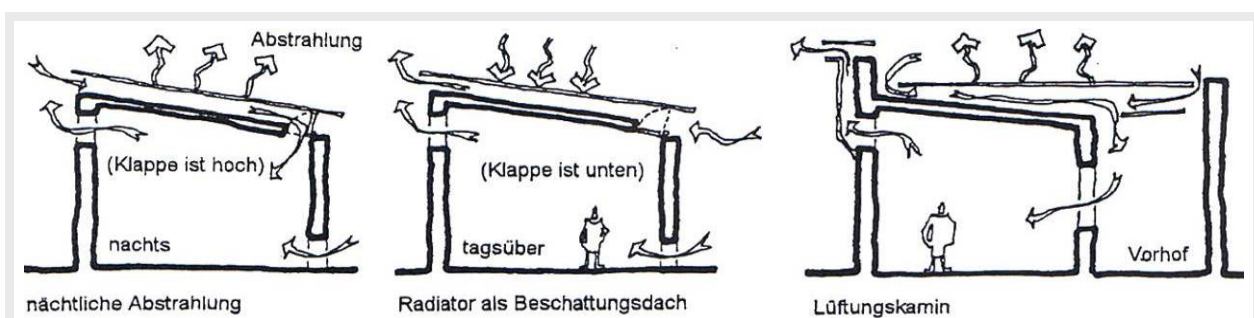


Abb. 5.33: Weiß gestrichene Blechplatten als Radiatoren und Beschattungsdach (Bansal et al., 1994; Lechner, 1991; Holm, 1983 (In: Sayed, 1999))

5.5.4.4 Aktive Wärmespeichersysteme durch zusätzliche Speicherelemente

Je größer die Masse und je höher das Gewicht, desto größer ist auch die Speicherfähigkeit, umso länger ist allerdings die Ladedauer von Speichern. Nachts und über einen Zeitraum von 8-10 Stunden kann aber auch bei niedriger Geschwindigkeit des Wärmetransportmediums bzw. der Luft eine ganze Menge Wärme abgegeben werden. Indem die Räume nachts direkt über Dachradiatoren gekühlt werden, lässt sich der Speicher mit der zugeführten Überschusskaltluft entladen. Sobald die angesaugte Luft durch steigende Temperaturen am Vormittag wärmer wird, schließt man die Kaltluftzufuhr bzw. den Entladevorgang. Wenn die Innenlufttemperatur mittags noch mal steigt, kehrt sich der Prozess um und entzieht der Speichermasse jetzt die Wärme mittels Warmluft aus dem Innenraum. Die Luft wird dann abgekühlt, indem der Speicher aufgeladen wird. Durch Verrohrung mit dem Wärmespeicher werden also die Innenräume tagsüber mit dieser Kaltluft über den Speicher versorgt bzw. gekühlt.

Ein Feststoffspeicher kann mit geschlossenem Kaltluft-Kreislauf aufgeladen und mit offenem Kreislauf entladen werden. Die Innenraumkühlung kann über gedämmte, veränderliche Konvektionsklappen in den umschließenden Wänden des Speichers gesteuert werden. Durch Abklappen können die Räume auch direkt durch Abstrahlung in die Speichermasse gekühlt werden. Alle Luftströme werden bei direkter Kopplung von Kühlsystemen und Speicher durch Schwerkraft geführt, oder auch durch Ventilatoren unterstützt.

Folgende Bauarten von aktiven Wärmespeichern sind zu unterscheiden (Abb. 5.34): 1) Poröser Feststoffspeicher aus großen Natursteinen oder Geröll mit Luft als Wärmetransportmedium; 2) Feststoffspeicher mit langen Zügen aus gesetzten Hohl- oder Formsteinen zur Oberflächenvergrößerung mit Luft als Wärmetransportmedium; 3) homogene Feststoffspeicher (z.B. aus Sand, Stein- und Kiesschüttung mit Korngrößen bis 5 cm) mit Flüssigkeits-Wärmetauscher; 4) Flüssigkeitsspeicher mit getrennten Eingabe- und Entnahmetauschern zur Ausnutzung der Wärmeschichtung.

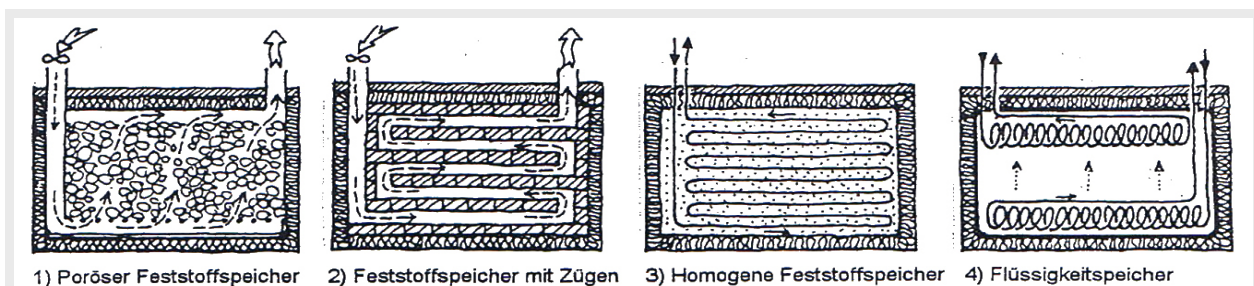


Abb. 5.34: Bauarten für aktive, nichtbauliche Wärmespeicher (KRUSCHE et al., 1982)

Bei dieser Methode wird passiv oder aktiv ausgekühlte Außenluft durch den Speicher geleitet. Das kann anhand von Koppelung verschiedener, integrierter Kühlungsverfahren erzielt werden. Beispiele dafür sind:

- Die Wasserverdunstung auf dem Dach kann als Wärmesenke betrachtet werden. Unter der durch Verdunstung ausgekühlten Dachoberfläche wird Luft gekühlt und ins Gebäude, angetrieben durch Schwerkraft oder mit Ventilatoren, geleitet. Indem sie den Speicher durchzieht, kühlt sie diesen ab (Abb. 5.35).
- Auch die Kaltluft aus Erdtunneln und -rohren kann einfache Steinschotterspeicher entladen. Die ausgekühlte Luft am Ende des Erdtunnels kann nachts anhand eines Windfangs oder Ventilators durch den Speicher gefördert werden (Abb. 5.36) (MOORE, 1993).

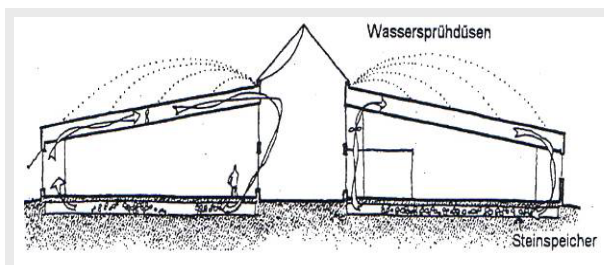


Abb. 5.35: Wasserverdunstung auf dem Dach als vorhandene Wärmesenke zum Speichern (SAYED, 1999)

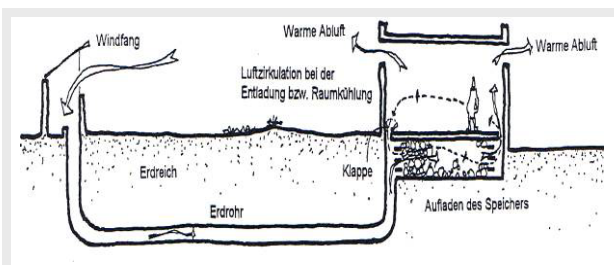


Abb. 5.36: Abkühlen bzw. Entladen eines Steinschotterspeichers mit Kaltluft aus Erdrohren (BANSAL et al., 1994; SODHA et al., 1986 (In: SAYED, 1999))

5.5.4.5 Stalkühlung durch Schotterspeicher

HAUSLEITNER und ZAINER (1999) haben den Temperaturverlauf eines Schweinestalls mit Belüftung durch Schotterspeicher untersucht und bemessen. Es wurde in dem Versuch Schotter mit einer Sieblinie von 100 mm verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Speichertemperatur bei extrem hoher Außentemperatur klar unterhalb einem Stalltemperaturmaximum von knapp 30 °C liegt.

Deutlich zeigt sich auch, dass die Tag- Nacht-schwankungen der Stall- und Speichertemperatur bei durchgehend hohen Luftraten weitgehend parallel verlaufen. Es ist festzuhalten, dass der Temperaturverlauf im Stall geringen Schwankungen unterliegt und die Temperaturspitze um mehr als 5 Kelvin unterhalb der höchsten Außentemperatur bleibt. Dieses Ergebnis wäre ohne den Schotterspeicher sicherlich nicht zu erzielen (Abb. 5.37).

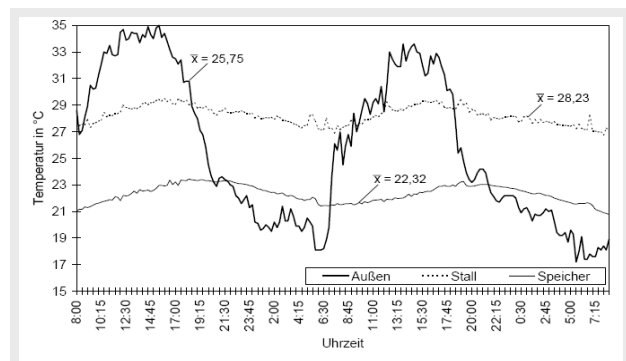


Abb. 5.37: Temperaturmessungen von Schotterspeicher und Stall sowie die Außentemperatur (HAUSLEITNER und ZAINER, 1999)

5.6 Verdunstungskühlung

5.6.1 Funktionsprinzip

Die adiabatische Kühlung - auch Verdunstungskühlung genannt - vertraut auf das physikalische Prinzip der Energieaufnahme oder -abgabe bei der Änderung des Aggregatzustandes eines Mediums zur Kühlung eines Luftstromes. Beim Verdunsten von zum Beispiel Wasser wird Wärme benötigt und beim Kondensieren wieder abgegeben.

Im Sommer bei hohen Umgebungstemperaturen und relativ geringer Luftfeuchte bietet sich die Möglichkeit, das Gebäude selbst nicht direkt zu kühlen, sondern den gebäudenahen Außenraum durch Verdunstungskühlung. Durch Befeuchtung von Luft wird diese demnach gekühlt. Eine Verdunstung liegt dann vor, wenn Wasser bei Temperaturen deutlich unter 100 °C aus der Wasseroberfläche oder aus befeuchteten Flächen verdampft. Die Verdunstung ist umso größer, je höher die Wasser- und Lufttemperaturen sowie die Luftgeschwindigkeiten sind.

Der Wirkungsgrad der natürlichen Verdunstungskühlung kann anhand einfacher mechanischer Mittel, die nur geringen Energieaufwand benötigen, bis zum erforderlichen Grad erheblich verbessert werden. Dieses Verfahren ist unter bestimmten Voraussetzungen die wirtschaftlichste Art der Luftkühlung, da das Befeuchtungswasser mittels einer Pumpe umgewälzt wird und der Wasserverbrauch etwa nur der von der Luft aufgenommenen Feuchtigkeitsmenge entspricht (LIPPSMEIER, 1969). Die erreichbare Kühlung ist also physikalisch begrenzt und abhängig von der Witterung. Im Durchschnitt erreicht die adiabate Kühlung sehr effektive Kühlleistungen.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Verdunstungskühlung einzusetzen:

- Verdunstung an der Wasseroberfläche (ruhende Gewässer): Durch zusätzliche Wasserzerstäubung und der damit einhergehenden Oberflächenvergrößerung kann der Kühleffekt vergrößert werden.
- Verdunstung infolge Wasserzerstäubung: Das fast tropfenfrei zerstäubte Wasser verdunstet schnell in der Außenluft. Die nicht verdunsteten Wasseranteile sind in der Lage, das Gebäude zu kühlen. Durch Druckluft-Wasserzerstäubung kann die Wasserzerstäubung noch verfeinert und beschleunigt werden.
- Verdunstung an benetzten Oberflächen (Außenwand- und Dachkühlung): Je höher die Wasser- und Lufttemperaturen sowie die Luftgeschwindigkeiten sind, umso größer ist der Kühleffekt.

5.6.2 Einsetzungsmöglichkeiten in menschlichen Gebäuden

Das Verfahren der Verdunstungskühlung wurde früher (in der Antike) mit Hilfe von Springbrunnen angewendet. Heute wird es meist indirekt angewendet, man befeuchtet und kühlt die Abluft und überträgt die Kälte über einen Wärmetauscher auf die Zuluft.

In den heißen Gebieten wird die Verdunstungskühlung in zwei Formen benutzt. Die erste ist die direkte Nutzung der Verdunstungskühlung durch Erhöhung der Luftfeuchtigkeit. Die zweite ist indirekte Verdunstung durch tiefgreifende Abkühlung der Gebäudehülle.

A. Direkte Nutzung: Verdunstungskühlungen durch Lüftung

Durch Besprühen von umgebenden Bodenflächen mit Wasser, bestenfalls auf Vegetation (Rasen, Büschen, Sträuchern, Bäumen usw.) oder großkörnige, helle Gesteine, wird eine angenehme Verdunstungskühlung erreicht. Die Anordnung von Grünanlagen in mehreren kleinen Vegetationsflächen ist hierbei wirksamer als wenige große Flächen (LIPPSMEIER, 1969). Entsprechend große Wasserflächen wie Springbrunnen, künstliche oder natürliche Seen, Teiche, Wasserbecken im Innenhof, im Luftzug, an der Außenseite oder in der Umgebung von Gebäuden verstärken den Kühleffekt durch Verdunstung. Damit wird gleichzeitig die erwünschte Befeuchtung der trockenen Außenluft erreicht.

B. Indirekte Nutzung: Verdunstungskühlung auf der Außenoberfläche der Bauhülle

Bei dieser Methode wird eine dünne, luftdurchlässige bzw. wasserabsorbierende Trägerschicht des Daches oder der Wände ständig mit Wasser besprüht, wozu wassersparende Sprüher analog zu Rasensprengern benutzt werden. Die Dachfläche kann mit Wasser bedeckt und die entstehende Verdunstungskühle genutzt werden. Es gibt dafür zwei Wege. Bei dem ersten sollte die Dachneigung möglichst gering und die oberste Lage des Daches an der Oberfläche rau sein (z.B. Kies), damit möglichst wenig Wasser schnell ablaufen kann. Bei relativ geringem Wasserverbrauch wird hierbei ein hoher Kühleffekt erzielt, wenn dieser Vorgang auch an der richtigen Stelle, nämlich der Außenseite des Daches, stattfindet. Die Temperatur der äußeren Dachoberflächen wird dabei um 25 - 30 K reduziert (LIPPSMEIER, 1969). Zugleich wird die innere Dachoberfläche nur um 15 K abgekühlt. Je höher die Oberflächentemperatur des Daches ist, umso wirkungsvoller arbeitet die Anlage (AL TURKI und ZAKI, 1991). Wirtschaftlich gesehen wird diese Anlage nur eingesetzt, wenn Wasser günstig vorhanden ist. Das zweite Verfahren be-

steht darin, die gesamte völlig waagerechte Dachfläche mit einer 5 - 10 cm hohen Wasserschicht zu bedecken, wobei das verdunstete Wasser ständig ergänzt wird (LIPPSMEIER, 1969). Die Oberflächentemperatur des Daches kann hiermit um 20 - 25 K reduziert werden (AGAS et al., 1991).

5.6.3 Einsatzmöglichkeiten bei Rinderstallbauten

Durch Befeuchtung der Zuluft, des Stalldaches bzw. von Stallflächen kann die Stalllufttemperatur gesenkt werden. Die Verdampfungskühlung kann die Dauer des Hitzestresses verringern (HUHNKE et al., 2001). Prinzip der Befeuchungskühlung ist, dass für den Verdunstungsvorgang Energie benötigt wird. Wenn flüssiges Wasser zu Wasserdampf verdunstet, wird für diesen Vorgang Wärme erforderlich. Diese wird der sensiblen Wärme entzogen, wodurch es zu einer Absenkung der Lufttemperatur kommt. Ein Teil der sensiblen Wärme wird bei diesem Vorgang in latente Wärme umgewandelt, das heißt, dass die relative Luftfeuchte ansteigt, die Enthalpie bleibt aber gleich. Dieser physikalische Effekt wird von Mensch und Tier im Sommer in der Lunge zur Wärmeabgabe genutzt (BÜSCHER et al., 2005; TVT, 2005). Trotzdem ist es wichtig, das Ansteigen der relativen Luftfeuchte zu kontrollieren, da bei sehr hohen Lufttemperaturen (über 30 °C) und bei einer relativen Luftfeuchte über 80 % eine extreme thermische Belastung (Schwüle) auftreten kann, wenn die Wärmeabgabe zum Erliegen kommt (TVT, 2005).

5.6.3.1 Befeuchtungsverfahren

Zur Verstärkung der Abkühlungswirkung kann Wasser versprüht werden. Dabei sollte man aus technischer Ansicht zwischen zwei Verfahren unterscheiden:

A. Hochdruckverneblung: Das Wasser wird sehr feintropfig versprüht bzw. vernebelt. Die dafür benötigte Energie wird aus der Luft entnommen. Die Wassertröpfchen verdunsten schnell und kühlen die Luft beim Aufwerfen der relativen Feuchtigkeit ab. Wenn ein Tier die abgekühlte Luft inhaliert, kann es Hitze mit der Luft austauschen und Hitze von seinem Körper abgeben (JONES et al., 1999).

Bei Versprühung mit Hochdruck (50 bis 80 bar Druck und Düsen mit sehr kleinen Öffnungen) liegt der Kühleffekt bei 8 bis 10 °C, sonst bei 4 bis 5 °C. Durch die adiabatische Kühlung kann die zuströmende Luft um 3 bis 5 °C abgekühlt werden (TVT, 2005).

Im Temperaturbereich > 25 °C ist davon auszugehen, dass die Wasseraufnahme dazu führt, die relative Luftfeuchtigkeit je Grad der Abkühlung um ca. 5 % ansteigen zu lassen. Eine Abkühlung von z.B. 5 Kelvin erhöht die Luftfeuchtigkeit von z.B. 50 % bis mehr als 75 % (DLG, Marktblatt 336).

B. Niederdruckversprühung: Hier wird das Wasser großtropfig auf die Kühe versprüht, um deren Fell zu durchnässen. Diese Methode versucht nicht, die Luft abzukühlen, sondern verwendet stattdessen eine große Tröpfchengröße, um den Haarmantel der Haut der Kuh nasszumachen (JONES et al., 1999). Das System kann entweder in einem Vorwartehof unter freiem Himmel geschehen oder aber im Stall in Kombination mit einer Unterstützungslüftung (MAHLKOW, 2007).

5.6.3.2 Ausnutzung für die Stallkühlung

A. Direkte Kühlung der Tiere: Die Tiere werden direkt durch die Verdunstungskälte auf der Haut gekühlt. Dazu werden Sprinklersysteme als Duschen im Laufgang installiert. Dabei sollen die Tiere nur am Rücken befeuchtet werden. Wichtig ist, dass immer mehrere Duschplätze eingerichtet werden, damit ranghohe Tiere nicht immer allein in den Genuss der zusätzlichen Abkühlung kommen. Eine Regelung über „billige“ Zeitschaltuhren erlaubt das Einhalten von Duschzeiten und damit das Wechseln der Standplätze (5 Minuten geöffnet und 10 Minuten geschlossen). Derartige Duschsysteme sind leicht selbst herzustellen. Gartenbewässerungssysteme mit Schlauch, Rasensprenger oder Beregnungsschläuche lassen dem Erfindungsgeist einen weiten Spielraum. Düsen von Pflanzenschutzspritzen sparen beim Wasserverbrauch. 02er Düsen haben sich bewährt (ALF, 2006). Dieses System wird an heißen Sommertagen und insbesondere in heiß-trockenen Regionen benutzt.

In Florida/USA werden oft Teiche zur direkten Abkühlung benutzt. Sie sind erfunden worden, um die Körpertemperatur ohne offensichtliche schädliche Wirkung auf die Eutergesundheit effektiv zu verringern oder andere Krankheiten zu verhindern. Die Teiche haben die ungefähren Maße von 15 x 24 m und von 1,2 - 1,8 m Tiefe (JONES et al., 1999).

Ein gutes Beispiel für direkte Kühlung befindet sich in Saudi-Arabien (Al-Safi Dairy Farm). In diesem Betrieb wird das System angewendet, um rund 32 000 Holstein-Kühe zu kühlen. Während die Außentemperatur bis 50 °C im Schatten erreicht, wird im Gebäudeinneren eine Temperatur - wegen dieser Kühlungsmethode - von nur 26 °C erreicht. Nachteil dieses Kühlungssystems ist der große Verbrauch von Wasser. Für die Produktion von einem Liter Milch verbraucht der Betrieb 2500 Liter Wasser (Abb. 5.38).

(Quelle: TV -Reportage: www.arte.tv/de/suche/605594.html).



Abb. 5.38: Dampfkühlungssystem eines modernen Betriebs für Milchviehhaltung in Saudi-Arabien (Al-Safi Betrieb) (www.arte.tv/de)

B. Kühlung der Luft: Die Abkühlwirkung durch Verdampfungskühlungsanlagen und Ventilatoren kann darüber hinaus mittels Hochdruckvernebelung oder Niederdruckversprühung noch deutlich verstärkt werden, und die Luft beim Erhöhen der relativen Feuchtigkeit abkühlen. Am besten eignet sich der Einsatz eines Wassersprengers unter den Ventilatoren, um die Kühe alle 15 Minuten nass zu machen. Der Einbau einer solchen Vernebelungsanlage mit Hochdruck (200 - 225 P/in) direkt über den Ventilatoren gewährleistet, dass das Wasser ständig verteilt wird; dadurch wird ein Saunaeffekt vermieden (MAHLKOW, 2007; JONES et al., 1999).

C. Kühlung der Stallflächen: Zur Kühlung der Dachflächen der Ställe setzt man Befeuchtungs- oder Besprühungssysteme mit Wasser ein. Dadurch wird eine Temperaturabsenkung der Dachhaut bewirkt. Die relative Luftfeuchtigkeit im Stall wird durch diese Maßnahme nicht beeinflusst, der Wärmeeintrag über das Dach aber gesenkt. Als technische Lösungen sind hierfür Gartensprenger, die auf dem Dach verteilt werden, geeignet, welche über eine Zeit-

schaltuhr gezielt eingesetzt werden. Die Rasensprenger werden vorteilhaft auf dem First eingebaut. PIOTROWSKI (1986) hat erwähnt, dass die Kühlung der raumumschließenden Bauteile durch Benetzung der Dachhaut mit Wasser erfolgen kann. Dabei gestattet eine fein verteilte Besprühung, Wasser einzusparen.

5.7 Gebäudekühlung durch Windfänge

5.7.1 Aufgabe und Funktionsprinzip

Der Windturm oder „Windfänger“ wurde in heiß-trockenen Regionen eingesetzt und entwickelt, um die maßgebenden Sommerwinde zu kühlen und durch das Gebäude zu leiten.

Der Windturm ist ein massiv gebauter Turm und gleicht einem Kamin, der von den untersten Räumen eines Gebäudes bis über das Dach hinausreicht. Der obere Teil des Turmes ist in verschiedene vertikale Lüftungskanäle unterteilt, die in Öffnungen in den Turmseiten enden. In Gegenden mit einer vorherrschenden Windrichtung öffnet sich der Turm zu dieser, in Gegenden mit variierenden Windrichtungen hatte der Turm Öffnungen in alle Richtungen. Die Türme unterscheiden sich in der Höhe, dem Querschnitt der Lüftungskanäle, den Öffnungen und der Anordnung des Turmes in Bezug zu der zu kühlenden Struktur. Die Luftzirkulation kann durch das Öffnen bzw. Schließen der verschiedenen Öffnungen reguliert werden. Nachdem zunehmend mechanische Ventilatoren und Klimaanlage eingesetzt werden, treten Windfänge im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit wieder mehr ins Blickfeld (Abb. 5.39, 5.40 und 5.41). (de.wikipedia.org/wiki/Badgir)

Der Turm funktioniert je nach Tageszeit nach anderen Prinzipien:

- Nacht / kein Wind: In der Nacht, wenn die Temperaturen im Gebäude höher als außerhalb sind und kein Wind weht, wird der Windturm als Kamineffekt wirken. Die warme Luft steigt nach oben, kalte Nachtluft wird durch den Unterdruck durch Fenster und Türen in das Gebäude nachgezogen. Die kalte Nachtluft kühlt die gesamte Gebäudemasse und die massiven Turmwände, die auch der Wärmespeicherung dienen. Dieser Prozess läuft die ganze Nacht ab.
- Nacht / mit Wind: Die Luftzirkulation erfolgt in umgekehrter Richtung: Durch Staudruckeffekt wird Luft in den Kamin gepresst. Der Wind, der in die obere Öffnung gedrückt wird, verlässt den Turm durch alle Öffnungen, die einen geringeren Druck haben. Die Räume werden durch die Nachtluft gekühlt, die durch den Windturm eindringt. Obwohl die Luft durch die Wände des Turms anfänglich erwärmt wird, ist das Prinzip immer noch effektiv genug, die Temperatur in den Räumen auf die der Umgebungsluft zu bringen. Die Wände des Turmes und das Dach geben außerdem noch über Strahlung Wärme an den in der Wüste sehr klaren Nachthimmel ab.
- Tag / kein Wind: Luftbewegung entgegen der Kaminrichtung: Heiße Umgebungsluft kühlt sich an den kalten Kaminmauern ab und fällt nach unten. Die gekühlte Luft zirkuliert durch das Gebäude und gelangt durch Fenster und Türen nach außen. Wenn die Mauern die Temperatur der Umgebungsluft erreichen, fängt sich die Luftströmung an umzudrehen: Der Turm wirkt wieder als Kamin.
- Tag / mit Wind: Entgegen der Kaminrichtung: höhere Luftwechselrate. Die Öffnungen am Kopf des Turmes sind paarweise in jede Himmelsrichtung angeordnet, so dass für jede wind-

abgewandte Öffnung auch eine windzugewandte existiert. Wenn die Öffnungen im Turm zu den Räumen geschlossen werden, entweicht der in den Turm hinabgedrückte Wind durch die windabgewandte Öffnung. Auch bei nicht geschlossenen Öffnungen entweicht ein Teil des Windes durch die gegenüberliegende Öffnung. Der Auftrieb, der so im gegenüberliegenden Luftkanal erzeugt wird, forciert immer eine Luftbewegung (Sog der Zimmerluft, Luftzirkulation durch Gebäude).



Abb. 5.39: Windfänge gehören zum architektonischen Ausdruck der traditionellen Gebäude in ariden Gebieten. Die höchsten Windtürme mit 33 m des Dowlat-Abad-Gartens (Yazd/Iran) (A'ZAMI, A. 2005)



Abb. 5.40: Kühlung eines modernen Einkaufszentrums in den V.A.E. durch Windtürme (WIRTH, 2000)

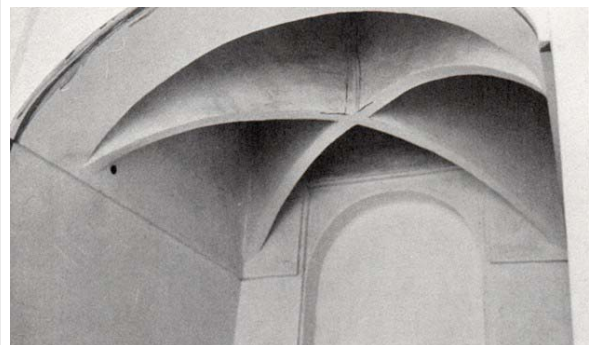


Abb. 5.41: Luftauslass eines Windturmes mit diagonalen Einteilung (FATHY, 1986)

5.7.2 Kühlung der menschlichen Gebäude durch Windfänge

Der Windfang kann je nach Ausführung und seiner Einbindung ins Gebäude, dem Standort und vor allem der klimatischen Situation unterschiedlich wirken. Die Kühlwirkung des Windturmes kann mit anderen Einrichtungen z.B. Wasserverdunstung und Innenhof kombiniert und verbessert werden.

5.7.2.1 Kühltürme und Verdunstungskälte (Verbindung mit Grundwasser)

Die bisher beschriebene Kühlung funktioniert aufgrund von Luftbewegungen infolge von Druckunterschieden verursacht durch Winddruck bzw. -sog und Temperaturdifferenzen. Wenn eine Luftströmung durch Gestaltung von Räumen und Windfang über eine Wasserfläche oder feuchte Flächen geführt wird, tritt durch Verdunstung mit der Verdunstungskälte eine zusätzliche Abkühlung auf. Dies kann direkt geschehen, wenn die befeuchtete abgekühlte Luft in die Räume gelangt beziehungsweise dort bleibt oder indirekt, wenn diese Luft die Wände des Windfangs

abkühlt. Oft sind Wasserbecken oder Springbrunnen im Luftzustrom im Keller des Gebäudes angeordnet. Die Länge der Kanäle und damit die Wärmekapazität und die Wassermenge, die zur Verdunstung und Kühlung bereit steht, kann unter anderem durch einen im Erdreich liegenden Lüftungskanal erhöht werden. Der Windfang steht dann mit etwas Abstand zum Gebäude. Oftmals wurde der Turm ca. 50 m vom Gebäude entfernt aufgestellt und die Grundmauern des Turmes durch einen Tunnel mit dem Keller des Gebäudes verbunden. Über dem Tunnel wurden Bäume, Sträucher und Gras gepflanzt. Wenn der Garten gegossen wird, diffundiert die Feuchtigkeit durch die Tunnelwände und so wird die Luft im Tunnel durch Verdunstungskälte gekühlt. Zusätzlich zur Nutzung der evaporativen Kälte wird die Speichermasse der Erde im konvektiven Austausch mit der Luft genutzt. Wird der Luftstrom über die Öffnung eines Schachts geführt, der eine Verbindung zu einem unter dem Gebäude liegenden Grundwasser (Qanat) darstellt, steigt die im Qanat über das Wasser gestrichene und abgekühlte Luft aus dem Schacht in die Räume. Dies geschieht, weil die strömende Luft einen niedrigeren statischen Druck ausübt als der natürliche Luftdruck am Ort anderer Schächte des Qanat, wenn dort keine oder geringere Strömung, auch wenig Wind unmittelbar am Boden stattfindet. Auch andere oben genannte Situationen können schon zu einem Luftzug aus dem Qanat ins Gebäude führen (Abb. 5.42).

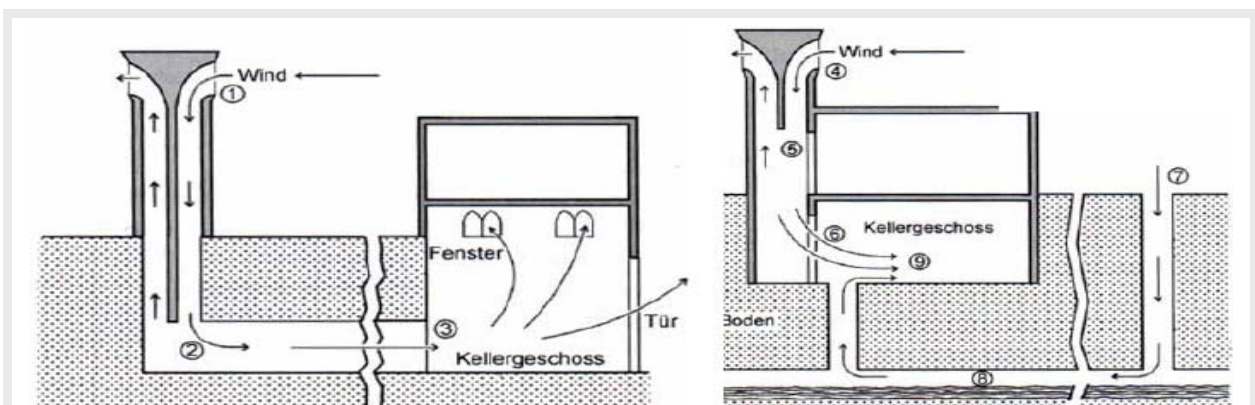


Abb. 5.42: Funktionsweise eines Windturms in Verbindung mit Grundwasser zur Kühlung. Links: Windturm mit Erdtunnel, rechts: Windturm mit Grundwasserkühlung / Windsog aufgrund Bernoullieffekt an einer Kuppel „Kuppelleffekt“ (NACHTIGALL, 2003)

5.7.2.2 Windfänge mit Verdunstungskühlung (übliche Bauform)

Das Wasser wird in einem dünnen Film auf einem porösen Träger zum Verdunsten gebracht. Dauernd befeuchtete poröse Tonwasserkrüge, -töpfe oder -gefäße stellen die günstigsten Feuchtigkeitsträger dar. Gespannte Strohmatte, Gewebeanordnungen, Holzwolle, dünne Stoffe oder Siebe können ebenfalls dafür benutzt werden. Die mit Wasser gefüllten Krüge schwitzen die Feuchtigkeit langsam aus und kühlen die vorbeistreichende Luft. Die Luft wird so befeuchtet und gekühlt und gleichzeitig wird das Wasser des Kruges gekühlt. Die Luft wird manchmal durch Verdunstung bei einem Wasserbecken am unteren Ende eines Windfangturmes noch mehr gekühlt.

Das passive Befeuchtungssystem mit natürlicher Luftbewegung kann durch die Verdunstungskühlung die Raumluft um etwa 10 K abkühlen. Eine verbesserte Ausführung von Verdunstungstürmen ist mit einer kleinen Wasserpumpe und Sprühdüsen ausgestattet.

Eine Weiterentwicklung für die passiven Verdunstungskühler in traditionellen Windfängen, stellt die Beschleunigung der Durchlüftung mit einem großen strombetriebenen Gebläse bzw. einem Ventilator dar. Da der Widerstand gegen die Luftbewegung möglichst gering sein sollte, sind dauernd befeuchtete Strohmatte, dünne Stoffe oder Siebe die einfachsten Feuchtigkeitsträger. Überschüssige Wassermengen werden am Boden des Gerätes gesammelt, durch eine kleine Wasserpumpe hochgepumpt und zur Befeuchtung von Mattem wiederverwendet. Der Wasserverbrauch zur direkten Verdunstungskühlung und die relative Luftfeuchtigkeit haben dabei einen Einfluss auf die Innenlufttemperatur. Beträgt die Temperatur im Schatten ca. 35 °C, so ist schon bei 40 % Luftfeuchtigkeit eine Absenkung der Raumtemperatur durch solche Maßnahmen um etwa 5 K möglich, bei nur 10 % Luftfeuchtigkeit (häufig am Tag in Wüstengebieten) sogar bis ca. 11 K (LIPPSMEIER, 1969). Die dauernde Versorgung mit Frischluft wirkt sich bei diesem Gerät vorteilhaft aus. Außerdem kann man es bei der Klimatisierung halboffener oder luftundichter Räume praktisch verwenden. Nachteilig sind jedoch der große Wasserverbrauch und die überhöhte und manchmal belästigende Luftfeuchtigkeit.

5.7.3 Kühlung der Rinderstallgebäude durch Windfänge

Einige Versuche zur Entwicklung windbetriebener Verdampfungskühlanlagen der Milchkuhställe in Saudi-Arabien wurden von ABDELHAFEEZ und MARZOOK (1991) und (1992) ausgeführt. Diese Studie wurde in zwei Teilen durchgeführt.

Im ersten Teil der Studie (ABDELHAFEEZ und MARZOOK, 1991) wurde ein windbetriebenes Verdampfungskühlsystem konstruiert und entlang der Windrichtungsseite eines an der Seite offenen Milchkuhstalls angebracht. Das System bestand aus einem Windfangturm, ausgestattet mit selbstregulierenden Plastikklappen, die entlang beider Seiten des oberen Endes arrangiert wurden, um den Windfluss in, aber nicht aus dem Turm zu ermöglichen. Der Luftstrom wurde bei Einströmen in den Turm gezwungen, durchfeuchtete gewellte Zellulosepads, die am unteren Teil des Turmes arrangiert waren, zu durchdringen. Während des Durchströmens der durchnässten Pads wurde der Luftstrom durch die Verdampfung gekühlt und danach gezwungen, den Schuppen zu durchströmen, wo Milchkuhe gehalten wurden. Zusätzliche Luftdruckventilatoren wurden im Turm installiert, um ausreichenden Luftfluss durch die durchfeuchteten Pads während ruhiger Tage zu sichern. Das System wurde im Sommer 1988 entworfen und getestet. Die psychrometrischen Temperaturen (trockene und feuchte Luft) und Luftgeschwindigkeit wurden innerhalb und außerhalb des gekühlten Schuppens gemessen. Die Ergebnisse zeigten, dass, während die äußeren trockenen Lufttemperaturen zwischen 37,5 und 47,5 °C, variierten, die gekühlte Temperatur zwischen den Werten 23 und 28° variierte mit einer Kühlungseffizienz, die zwischen 71,5 und 85,5 % lag.

Man verließ sich darauf, dass der Wind die notwendige Kühlung für ungefähr 56 % der gesamten experimentellen Periode vom 12. Juni bis zum 28. September lieferte.

Der zweite Teil der Studie (MARZOOK und ABDELHAFEEZ, 1992) befasst sich mit der Auswirkung von natürlichen Verdampfungskühlsystemen auf die Leistung der Milchkuhe. Vierzig milchgebende Friesische Kühe wurden ausgewählt und in zwei gleiche Gruppen eingeteilt: Gruppe A: (Kontrolle) und Gruppe B (Experiment). Die Experimente wurden durchgeführt während der

sommerlichen Spitzen-Hitzeperiode vom 01. Juni bis zum 30. September 1988. Die Auswirkungen dieses Systems auf Züchtungseffizienz, Körpertemperatur, Atmungsgeschwindigkeit und Milchproduktion wurden aufgezeichnet. Dieses System erhöhte die Anzahl der Deckungen pro Konzeptionsphase von $2,25 \pm 2,08$ auf $1,41 \pm 0,72$. Die gekühlte Gruppe hatte eine mittlere Körpertemperatur von $38,83\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,39$, während die ungekühlte Gruppe eine mittlere Körpertemperatur von $39,69\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,54$ hatte. Durch das System gelang es, die Atmungsgeschwindigkeit von $90,94 \pm 13,14$ auf $74,99 \pm 12,47$ pro Minute zu senken. Die Milchproduktion in Gruppe B war höher als in Gruppe A, sie belief sich auf $13,35 \pm 2,38$ und $11,99 \pm 2,54$ l/Kuh/Tag/jeweils. Diese Studie gibt einen guten Hinweis auf die großen verfügbaren Potentiale, um die Züchtungseffizienz und Milchproduktion von Milchvieh während der heißen und trockenen Saison zu verbessern (Abb. 5.43).

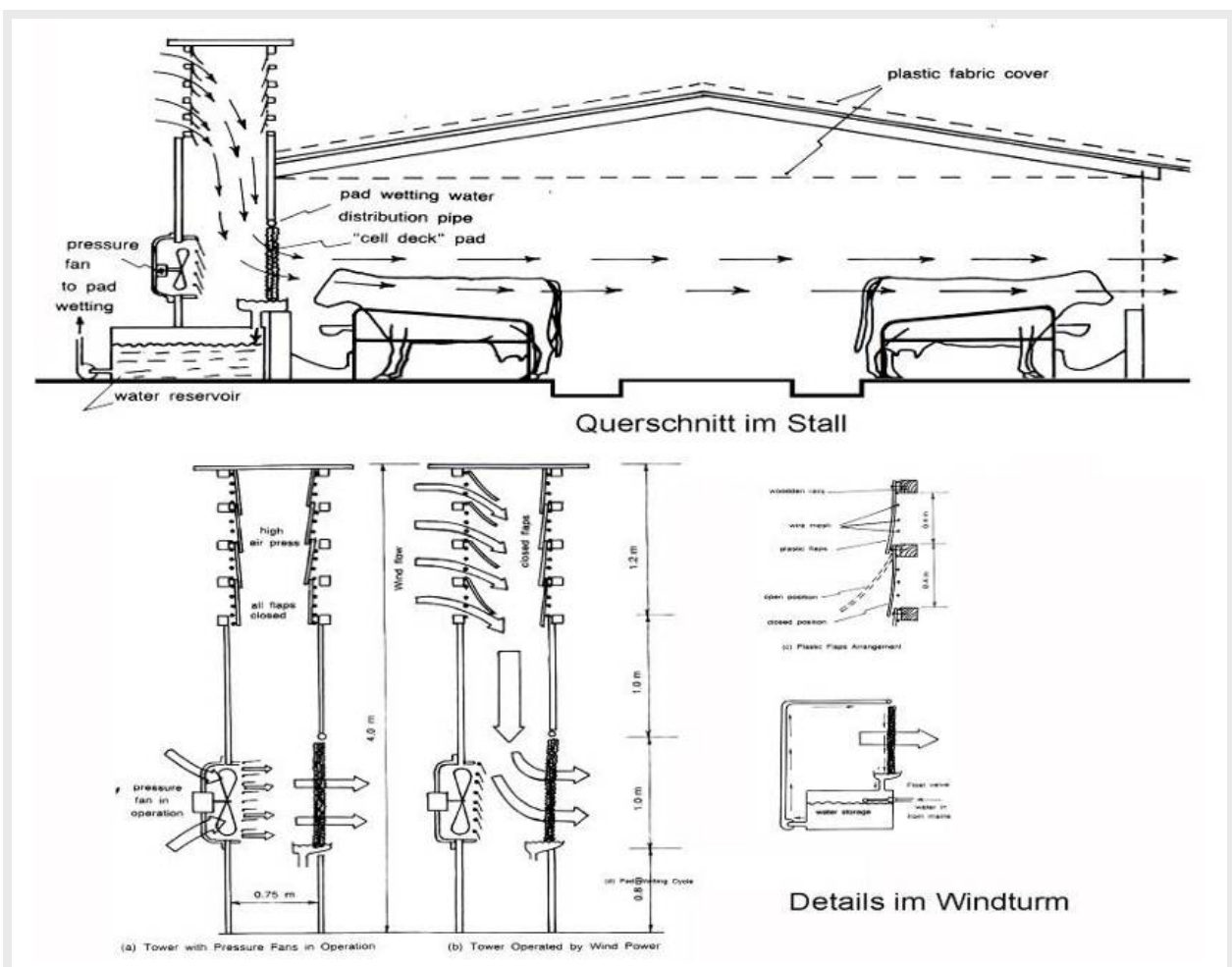


Abb. 5.43: Versuchsdarstellung zur Entwicklung eines Windfanges für einen Milchviehstall in Saudi-Arabien (MARZOOK und ABDELHAFEEZ, 1992)

5.8 Gebäudekühlung durch Luft-Erdwärmetauscher

5.8.1 Bedeutung

Die Nutzung des Erdreichs zur Kühlung von Gebäuden ist im Nahen Osten seit bald 3000 Jahren bekannt. Erste Hinweise für die Nutzung von erdgeführter Gebäudezuluft zur Kühlung gehen auf den Iran um 900 n. Chr. zurück (BANSAL, 1994). Die Klimatisierung eines iranischen Gebäudes durch unterirdische Verdunstungskühlung, die durch windbedingte Druckunterschiede hervorgerufen wird (s. Abb. 5.42 (S. 105)), ist auf analoge Prinzipien aufgebaut wie die der Bauten von Wüsten-Termiten (s. Abb. 5.25 (S. 88)).

In Deutschland ist die Idee auch sehr alt. Bereits 1877 wurde beim Kaiserlichen Patentamt ein entsprechendes Verfahren zum Patent angemeldet. Bisher wird der Luft-Erdwärmetauscher (L-EWT) im Wesentlichen in Passivhäusern eingesetzt. In den nächsten Jahren ist mit einer deutlich zunehmenden Anzahl von Luft-Erdwärmetauschern bei größeren Gebäuden wie Bürogebäuden, Hotels, Schulen, Hallen und landwirtschaftlichen Gebäuden zu rechnen, in denen Lüftungsanlagen mit der Option zum Kühlen zum Einsatz kommt (RANFT und FROHN, 2004). Ein L-EWT kommt wegen seines niedrigen Energiebedarfs und möglicher guter Aufwandszahlen als umweltfreundliche Versorgungskomponente für Gebäude in Betracht. Dabei ist besonders vorteilhaft, dass ein L-EWT die Umgebungsluft je nach Jahreszeit nicht nur vorwärmen, sondern auch kühlen kann. Der Einsatzbereich eines L-EWT liegt zwischen Volumenströmen von 100 m³/h und mehreren 100 000 m³/h (DIBOWSKI, 2003; Ag Solar NRW, 2004). In Deutschland liegt heute die Wärmeleistung des Erdwärmetauschers im Winter bei ca. 86 000 kWh/a; die Kühlungswirkung im Sommer beträgt ca. 125 000 kWh/a (BEGA, 2006).

Die Vorteile der Erdwärmetauscher sind: **a)** Niedrige Energiekosten durch Reduzierung oder Vermeidung von konventionellen Kühlanlagen; **b)** Umweltschutz durch geringere Kohlendioxidemissionen; **c)** das Erdreich liefert nicht nur Kühle im Sommer, sondern auch Wärme im Winter; **d)** das Prinzip ist je nach Bedarf am Tag oder bei Nacht umsetzbar; **e)** hygienische Luftzufuhr in den Räumen durch die eingesetzten Filter in den Lüftungsanlagen.

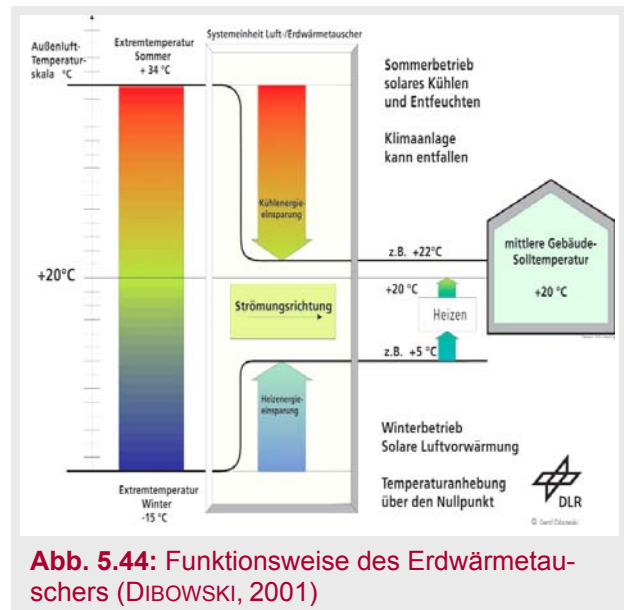
Die Nachteile sind: **a)** Kosten durch das Verlegen der Rohre; **b)** erhöhter Platzbedarf zum Verlegen der Rohre; **c)** die Nutzleistung variiert je nach Bodenbeschaffenheit und Wettersituation wie Niederschlag oder Trockenheit sowie Hitze und Kälte; **d)** Filteraustausch in regelmäßigen Zeitabständen notwendig. Ist eine genaue Leistungsanforderung notwendig, so müssen zusätzliche raumluftechnische Anlagen betrieben werden.

5.8.2 Prinzip

Die behagliche Lufttemperatur sollte in einem Gebäude bei 20 °C liegen (bei Menschen 20 - 26 °C und bei Rindern 0 – 20 °C). Um diese Temperaturen zu erreichen, ist es notwendig, das Gebäude im Winter zu erwärmen und im Sommer zu kühlen. Das Prinzip des Erdwärmetauschers liegt darin, dass die Temperatur des Erdreichs im Winter zur Vorwärmung und im Sommer zur Kühlung der Zuluft verwendet wird, da das Erdreich im Winter wärmer und im Sommer

kühler als die Außenluft ist. Die Temperaturdifferenz von Erdreich und Außenluft kann im Winter – je nach Verlegetiefe – Werte bis zu 25 Kelvin betragen. Die Nutztemperaturunterschiede können in der Heizperiode bis zu 20 K und im Sommer 12 K betragen (Abb. 5.44).

In den heißen Gebieten, wenn die Außenluft unangenehm und zu warm ist, um sie zur Gebäudebelüftung zu benutzen, sollte sie erst durch eine günstige Methode relativ ausgekühlt werden. Bei dieser Kühlungsmethode werden die thermische Erdmasse und die stabile Temperaturschichtung im Erdreich zur Luftkühlung ausgenutzt.



Die Bodentemperaturen sind in den meisten Klimazonen in Tiefen von 50 - 60 cm und mehr gemäßigter als die Außenlufttemperatur wegen der Wärmespeicherefähigkeit des Erdreiches. Das kühlere Erdreich dient als Speichermasse und kühlt die warme Außenluft, indem es Wärmeenergie aufnimmt. Erde kann als Wärmesenke für Gebäudekühlung wirtschaftlich genutzt werden. Schließlich kann diese relativ geringe Temperatur auf drei verschiedene Weisen genutzt werden: **1)** Erdberührende Bauhülle, **2)** unterirdisches Bauen und **3)** Erdtunnel oder -rohre. In dieser Arbeit wird nur die dritte Möglichkeit „Erdtunnel und -rohre“ beschrieben, weil sie als optimale Kühlungsmethode für moderne Ställe genutzt werden könnte.

5.8.3 EWT-Verfahren: Erdtunnel und -rohre

5.8.3.1 Erdkanal

Für die Wahl einer Erdkanalkühlung sollten möglichst große Temperaturdifferenzen zwischen Sommer und Winter sowie Tag und Nacht vorherrschen. Die Querschnittsflächen der Erdkanäle könnten von ca. 0,80 m² (0,90 x 0,90 m) bis höchstens 16 m² (3,60 x 4,50 m) schwanken. Zur Förderung der Luftströmung durch den Erdtunnel lassen sich zusätzlich gekoppelte Systeme wie thermische konvektive Schornsteine oder Lufffänge einsetzen, die in den Tunnel integriert werden können (SODHA et al., 1986). Der maximale Wirkungsgrad des Systems kann am besten erreicht werden, wenn die Verlegetiefe des Tunnels von ca. 4 m ist. Deshalb sollte sichergestellt werden, dass der Grundwasserspiegel mindestens 6 - 7 m unter der Erdoberfläche liegt. Zum optimalen Systembetrieb sollte der Tunnel mit mechanischen Gebläsen versehen sein. Eine Rückschlagklappe am Tunnelende ist wesentlich, um die Luftströmung nur in einer Richtung zu regeln. Dadurch wird der Eintritt von Innenraumlufte in den Tunnel verhindert. Regenwasser sollte sowohl aus den Tunnelöffnungen als auch aus der Erdoberfläche, unter welcher der Tunnel liegt, sicher abgeleitet werden (THOBURN, 1983). Die Förderung der Luftströmung durch den Luft-Erdreich-Wärmetauscher mit Hilfe von Windfängen wird in der Abbildung 5.42 (S. 105) dargestellt.

5.8.3.2 Erdrohre

Erdrohre weisen ganzjährig Potentiale sowohl zum Kühlen als auch zum Heizen auf, aber ihr Wirkungsgrad zur Kühlung im Sommer ist größer als zur Heizung im Winter, weil die winterliche Kaltluft durch Einlassöffnungen zum Einsinken und Lagern in den Rohren tendiert, und dadurch die zwischengespeicherte Wärme im Erdreich vermindert. Das Prinzip besteht darin, Umgebungsluft mit Hilfe von Lüftungseinrichtungen oder natürlich konvektiven Luftströmen durch lange Rohre zu saugen, die entweder in der Erde verlegt, in Wällen vergraben oder in Teichen versenkt werden (WRIGHT, 1980).

5.8.4 Einflussfaktoren auf die Luftaustrittstemperatur bei EWT

Für eine optimale Auslegung von L-EWT-Anlagen ist eine Abschätzung der ungestörten Temperatur im Erdreich notwendig. Verschiedene Parameter tragen zu der Einstellung eines bestimmten Temperaturniveaus bei. Dazu gehören z.B. der Volumenstrom, Querschnitt, Verlegtiefe, Länge von Rohrmaterial und Erdreich. Aus der Abbildung 5.45 kann abgelesen werden, in welchem Ausmaß sich die Veränderung einer Einflussgröße (in Prozent) auf den Energieertrag auswirkt. Die Tabelle 5.04 zeigt das Verhältnis zwischen der Heiz- und Kühlleistung des EWT und des Luftvolumenstroms.

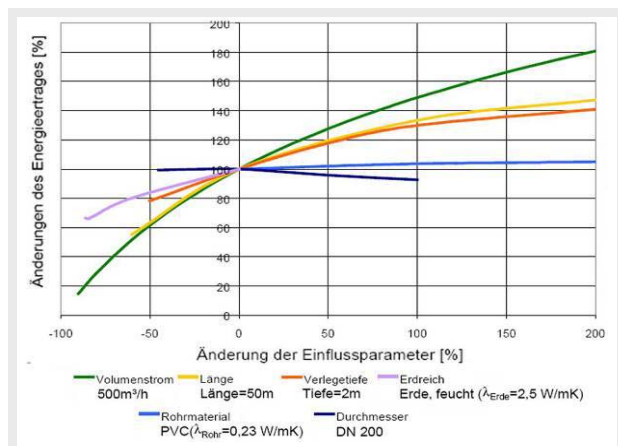


Abb. 5.45: Prozentuelle Änderung des Gesamtenergieertrages für Heiz- und Kühlbetrieb des definierten EWT in Abhängigkeit einzelner Einflussgrößen (BLÜMEL und FINK, 2003)

Tab. 5.04: Heiz- und Kühlleistung des EWT in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms (RANFT und FROHN, 2004)

Luftvolumenstrom	Länge L-EWT	Rohrdurchmesser	max. Heizleistung	max. Kühlleistung
[m³/h]	[m]	[m]	[kW]	[kW]
300	30	1,5 - 0,3	1,8	1,8
500	50	0,2 - 0,4	2,9	3,0
1000	70	0,3 - 0,6	5,9	5,9
2000	100	0,4 - 0,8	11,7	11,9
5000	160	0,6 - 1,0	29,4	29,7
10000	240	0,8 - 1,5	58,7	59,3

Der Wirkungsgrad eines Erdtunnels oder- von Erdrohren bzw. die Menge von ausgetauschter Wärme zwischen Luft und dem umschließenden Erdreich hängen von den folgenden Faktoren ab.

A. Erdreichtemperatur: Die Erdtemperatur wird beeinflusst durch thermische Sonnenstrahlung, Regeneintrag, Erdfeuchte durch Grundwasser und Erdbeschaffenheit (Energieagentur NRW, 2003). Neben der Tiefe hängt die Temperaturdämpfung ebenfalls von den Bodeneigenschaften ab. Trockene Böden dämpfen stärker als gesättigte. Dem steht gegenüber, dass die Wärmespeicherkapazität und Wärmeleitfähigkeit stark mit dem Wassergehalt des Bodens zunehmen. Deshalb weisen gesättigte Böden ein größeres Durchhaltevermögen auf.

Beim trockenen Sandboden mit schwacher Wärmeleitfähigkeit entsteht im Erdmantel in kurzer Zeit ein großes Temperaturgefälle. Nach einer Stunde beträgt die Leistung etwa 65 % derjenigen des gesättigten Lehm-bodens, nach zwölf Stunden weniger als die Hälfte (VAN CAENESEM und DIDIER, 1997).

Die oberflächennahe Erdreichtemperatur bis zur Tiefe von etwa zwölf Metern folgt im Prinzip dem Verlauf der mittleren jährlichen Umgebungstemperatur mit einer von der Verlegetiefe abhängigen Zeitverschiebung (Energieagentur NRW, 2003). Die Temperatur der Erde in einer Tiefe von 10 - 20 m beträgt in Mitteleuropa im Mittel etwa 10 - 13 °C (Abb. 5.46).

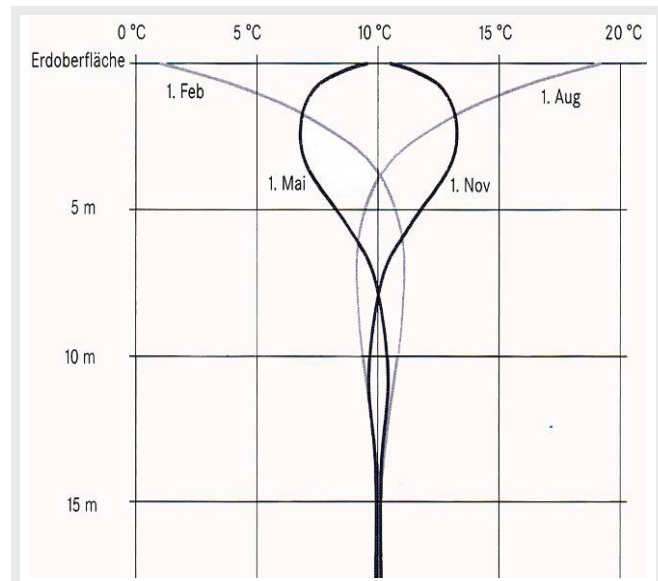


Abb. 5.46: Erdreichtemperatur bis 15 m Tiefe (RANFT und FROHN, 2004)

In heißen Klimazonen übersteigt in 1,5 Metern Tiefe die Erdbodentemperatur normalerweise nicht mehr als 20 °C, selbst wenn die Lufttemperatur im Sommer über 40 °C erreicht (WRIGHT, 1980). Dabei treten kaum spürbare Tag- und Nacht-Lufttemperaturschwankungen auf, besonders bei größeren Tiefen als 3 m, wo die Erdtemperaturen das ganze Jahr über fast stationär unveränderlich bleiben (HILLMANN et al., 1981).

Die Auskühlung des Erdreiches unter seine stabile Ausgleichstemperatur kann auch durch geeignete Behandlung der Erdoberfläche erzielt werden. Bei der Verschattung mit langen Gräsern wird die Temperatur der Erdoberfläche um 4 K abgesenkt. Beim Bedecken der Bodenoberfläche mit ca. 10 cm hoher, befeuchteter Schicht aus großem, strahlungsreflektierendem Kies und Schotter sinkt die Temperatur um 16 K, etwa 12 K kühler als die Lufttemperatur (KUSUDA, 1980).

B. Verlegetiefe: Je größer die Verlegetiefe ist, umso günstigere Temperaturniveaus herrschen im Erdreich für den EWT-Betrieb. Abbildung 5.47 zeigt die sich durch die Speichereigenschaft des Erdreiches einstellende Dämpfung sowie die Phasenverschiebung im Jahresverlauf von Erdtemperaturen in unterschiedlicher Tiefe. Die Verlegetiefe von 1,50 - 2,50 m ist aus praktischen und wirtschaftlichen Gründen ausreichend für die meisten Anwendungsbereiche (FRANCIS, 1984). Für eine möglichst intensive Luftvorwärmung ist eine Verlegetiefe

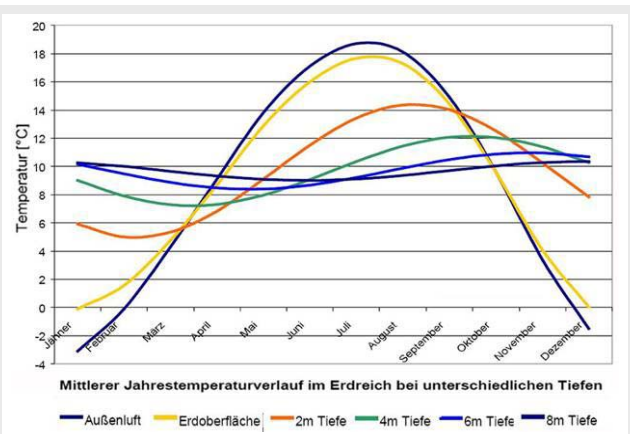


Abb. 5.47: Jahrestemperaturverlauf der Außenluft, Erdoberfläche und des Erdreiches in verschiedenen Tiefen für den Boden „Kies - trocken“ (Graz) (BLÜMEL und FINK, 2003)

von etwa 2 m für die obere Reihe und 3 m für die untere Reihe empfehlenswert. An heißen Sommertagen beträgt der Lufttemperaturunterschied am Ausgang der Rohre zwischen 1,5 m

und 3 m Tiefe ca. 2 °C (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997). Diese Temperaturdifferenz ist gering, aber sie hat einen großen Einfluss auf die gesamte Energie, welche der Zuluft pro Tag entzogen wird.

C. Rohrdurchmesser: Als Rohre benutzt man in der Regel solche mit Durchmesser 250 bis 400 mm. Der Rohrdurchmesser kann ermittelt werden, wenn das stündliche Gesamtvolumen erforderlicher Kaltluft je nach dem spezifischen Kühlbedarf des Hauses bestimmt ist. In Abhängigkeit des Volumenstroms sollte die Luftgeschwindigkeit in den Rohren maximal 1,5 m/s betragen. Dies bedeutet zumindest DN 200 für 170 m³/h (www.komfortlüftung.at). Eine Verdoppelung des Rohrdurchmessers bedeutet einerseits eine Verdoppelung der Wärmetausfläche, andererseits eine Vervierfachung der Luftrate bei gleichbleibender Luftgeschwindigkeit. Das bedeutet, dass pro m³ Luftrate nur halb so viel Wärmetausfläche zur Verfügung steht. Andererseits nimmt der Wärmewiderstand im Erdmantel ums Rohr herum mit steigendem Durchmesser ab. Dies erklärt, dass der Leistungsverlust bei Vergrößerung des Durchmessers etwas geringer ist, als es das Flächenverhältnis erwarten lässt (Tab. 5.05) (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997).

Tab. 5.05: Temperatur am Ausgang von drei Rohren mit unterschiedlichem Durchmesser (d) in einer Tiefe von 1,50 m. Eingangstemperatur 28,8 °C, Luftgeschwindigkeit 2 m/s. Ergebnisse Versuchsanlage FAT, 1.8.1996, (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997)

Wärmetausfläche pro m ³ Luftrate	[%]	d = 251 mm	d = 315 mm	d = 402 mm
		100 %	79,7 %	62,4 %
Lufttemperatur am Ausgang	[°C]	23,6	24,4	25,2
Abkühlung Luft	[°C]	5,2	4,4	3,6
Abkühlung Luft	[%]	100 %	85 %	69 %

D. Rohrlänge: Die optimale Rohrlänge richtet sich nach dem Rohrdurchmesser und der Luftgeschwindigkeit, große Rohrdurchmesser sind nur bei sehr langen Rohren sinnvoll. Die Rohrlänge von ca. 45 - 75 m ist zweckmäßig. Auch je nach Luftmenge sind Rohrlängen um 50 m pro 100 m³/h Luftdurchsatz notwendig (www.heiz-tipp.de). Man kann berechnen, dass für einen gesättigten Lehm Boden unter stationären Wärmetransportverhältnissen bei einer Luftgeschwindigkeit von 2,5 m/s das Rendement 50 % beträgt, wenn der Durchmesser 315 mm und die Länge 22 m ist (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997). Zu kurze EWT bedeuten keinen ausreichenden Vereisungsschutz und zu lange EWT bedingen zu große Druckverluste bzw. Kosten.

E. Luftgeschwindigkeit: Bei einer Zunahme der Luftgeschwindigkeit nimmt der Wärmeaustauscher zwischen Erdmantel und Zuluft pro m³ Luftrate ab. Dies ist auf den Wärmewiderstand im Erdmantel zurückzuführen. Weiter beeinflussen auch die Dauer des Wärmeaustausches, die Rohrlänge sowie die Bodeneigenschaften der Rohrwand die Änderung der Wärmeübertragung. Bei schlecht Wärme leitenden Böden wie trockenen Sandböden fällt der Wärmeaustausch pro m³ Luftrate mit steigender Luftgeschwindigkeit viel stärker als bei gut leitenden zurück (Tab. 5.06) (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997). Die empfohlene Luftgeschwindigkeit im Erdrohr soll bei ca. 2 - 2,50 m/s gehalten werden. Nach den rechnerischen Ergebnissen erreicht die wirksame Luftgeschwindigkeit bis 3,5 m/s (AGAS et al., 1991).

Tab. 5.06: Mittlerer Wärmeaustausch in Wh/m³ Luftrate während 12 Std. für vier verschiedene Luftgeschwindigkeiten (v). (Rohrdurchmesser: 251 mm, Temperaturdifferenz - Boden am Anfang: 10 °C. Außenlufttemperatur konstant, Rohrlänge: 15 m. Modelberechnung) (VAN CAENESEM und DIDIER, 1997)

	V = 1 m/s	V = 2 m/s	V = 3 m/s	V = 4 m/s
Gesättigter Lehm Boden				
Wärmeaustausch Wh/m ³ Luftrate	2,42	2,06	1,81	1,61
Wärmeaustausch pro m ³ Luftrate %	100	85	85	67
Trockener Sandboden				
Wärmeaustausch Wh/m ³ Luftrate	1,47	0,95	0,70	0,56
Wärmeaustausch pro m ³ Luftrate %	100	65	48	38

F. Rohrmaterial: Die Rohre weisen wegen der großen Wärmetauscherfläche und der geringen Wandstärke eine gute Wärmeübertragung zwischen Erdreich und Zuluft auf. Als Material für Erdwärmetauscher werden Werkstoffe eingesetzt, die eine ausreichende Beständigkeit gegenüber Bodeneinflüssen aufweisen und eine ausreichende Dichtheit garantieren. Als Luftleitungen sollten die für Erdwärmetauscher verwendeten Materialien dünn, innen glatt, nicht staubansaugend, korrosionssicher, ungiftig und nicht hygroskopisch (Feuchtigkeit bindend bzw. aufnehmend) sein. Die Rohre sorgen außerdem für den nötigen mechanischen Widerstand gegen Erddruck. Aus wirtschaftlichen Gründen sollten nur Rohre aus gängigen Materialien und in Normgrößen gewählt werden.

- PE (Polyethylen, $\lambda = 0,35$ W/mK) nach DIN 8074 und DIN 8075; PP (Polypropylen, $\lambda = 0,22$ W/mK) nach DIN 16962: Die beide Materialien sind die teuerste Alternative, hygienisch sehr geeignet, hohe statische Belastbarkeit, geringe Wandreibungsverluste (Ag Solar NRW, 2002).
- Kunststoffrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC hart) nach DIN 19534: ist preiswert bei kleinem Durchmesser bis DN 500 (Ag Solar NRW, 2002).
- Betonrohre ($\lambda = 2,0$ W/mK) nach DIN 4032 und 4035 haben eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit, aber sie sind aufgrund ihrer rauen Innenoberfläche, mangelhaften Dichtigkeit gegenüber Wassereintritt von außen nicht zu empfehlen.
- Rippenrohre weisen wegen der großen Wärmetauscherfläche und der geringen Wandstärke eine gute Wärmeübertragung zwischen Erdreich und Zuluft auf. Die Rippen sorgen für den nötigen mechanischen Widerstand gegen Erddruck (VAN CAENESEM und DIDIER, 1997).
- Es gibt noch weitere Rohrmaterialien wie Kabelschutzrohre, Faserzementrohre nach DIN 19840 und 19850 und Steinzeug (DIN 1230, DIN EN 295) (Ag Solar NRW, 2002).
- Vermeidung von PVC (Polyvinylchlorid, $\lambda = 0,16$ W/mK) und Wellrohre aus ökologischen Gründen.

G. Erdmanteldicke und Abstand zwischen den Rohren: Die Dicke des Erdmantels, der sich im Tagesrhythmus am Wärmefluss beteiligt, hängt von der Wärmespeicherkapazität und der Wärmeleitfähigkeit des Bodens ab. Die Wärmespeicherkapazität variiert sehr stark. Ein Erdmantel von 5 cm aus gesättigtem Lehm um ein Rohr mit Durchmesser 25 cm weist eine spezifische Wärmekapazität von etwa 45 Wh/mK auf. Für einen trockenen Sandboden beträgt die Wärmekapazität dagegen lediglich 15 Wh/mK (BEGA, 2006).

Der Abstand zwischen den Rohren beeinflusst die Wärmeleistung des Erdwärmetauschers, indem er das wirksame Volumen des Erdmantels mehr oder weniger beschränkt. Ein Rohr mit Durchmesser 250 mm weist für einen Achsabstand von 0,63 m einen wirksamen Anteil des Erdmantels von 70 % auf. Für einen Durchmesser von 40 cm braucht es dagegen einen Achsabstand zwischen den Rohren von 0,74 m. Die Rohre können in einem Abstand bis 1.00 m verlegt werden und dieser darf 50 cm nicht unterschreiten (VAN CAENEGEM und DIDIER 1997).

H. Bodenkennwerte: Die thermischen Kennwerte des Bodens spielen eine entscheidende Rolle bei der Auslegung von L-EWT. Dies sind die Dichte, die Wärmeleitfähigkeit und die spezifische Wärmekapazität. Sie bestimmen die Größe der Amplitude des Bodentemperaturprofils und somit das theoretische Nutzpotential. Der Einfluss der Feuchtigkeit, besonders auf die Wärmeleitfähigkeit verschiedener Böden, ist sehr ausgeprägt und muss bei der Anlagenplanung berücksichtigt werden. Die Bandbreiten aller Bodenarten sind in der Tabelle 5.07 ermittelt und aus mehreren Literaturstellen angegeben.

Tab. 5.07: Wertebereiche der wichtigsten thermischen Bodenparameter

	Einheit	von - bis
Wärmeleitfähigkeit (λ)	[W/mK]	0,3 - 2,9
Dichte (ρ)	[kg/m ³]	1100 - 2000
Wärmekapazität (c)	[J/kgK]	840 - 1600
Temperaturleitfähigkeit (a)	[m ² /s]	0,5 - 1,4 *10 ⁶

5.8.5 Empfehlungen

Nach praktischen Erfahrungen und Ergebnissen rechnerischer Untersuchung werden die folgenden Empfehlungen zur optimalen Erstellung von Erdrohren festgestellt:

- Einflussfaktoren der Rohrdimensionierung sind: Geringe Luftgeschwindigkeit (Voraussetzung: Strömungsturbulenz), große Rohrlänge, relativ kleine Durchmesser und mehrere parallele Rohre, großer Rohrabstand bei Registern und hohe Verlegetiefe (theoretisches technisches Optimum bei ca. 6 m (ALBERS et al., 1991).
- Positive Einflussfaktoren Erdreich/Klima auf die Wärmeübertragung an den L-EWT können durch gute Erdverdichtung, hohe Erdfeuchte, Oberflächenwasser-Versickerung über dem L-EWT, hoher Grundwasserspiegel und kurze Zeitdauer der Kälte-/Hitzeperiode sein.
- Rohre mit kleinem Durchmesser brauchen eine geringere Länge als Rohre mit großem Durchmesser. Das thermische Rendement hängt ebenfalls stark von der Luftgeschwindigkeit ab (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997).
- Grundvoraussetzung für den Betrieb eines Erdwärmetauschers ist der Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage. Über freie Lüftung, das heißt ohne Lüftungsanlage (Ventilator), ist ein kontrollierter und hygienischer Betrieb des Erdwärmetauschers nicht möglich (En. NRW, 2003).
- Bei größeren Anlagen erfolgt die Luftzuführung über einen Verteilkanal an der Lufteintrittsseite, der in der gleichen Größe dimensioniert ist wie der Sammelkanal an der Luftaustrittsseite. Sind die Verteilschächte betonierte, kann sich die Außenluft beim Lufteintritt bereits

abkühlen oder im Winter vorwärmen.

- Die Einlassöffnungen müssen an der Nordseite oder einem schattigen Ort angeordnet sein.
- Durch ein vom Boden erhöhtes Ansaugrohr wird die Verschmutzung durch Kleintiere, Flugpartikel usw. vermieden werden. Ein Filter sollte nur eingesetzt werden, wenn eine regelmäßige Wartung und Kontrolle gewährleistet sind.
- Im Sommer kann weniger Feuchtigkeit aufgenommen werden und es kommt zum Tauwasserausfall (Kondensation), der auch im Erdwärmetauscher auftritt. Damit dieses Kondensat nicht in dem Erdwärmetauscher verbleibt, muss die Verlegung der Rohre mit einem Gefälle von 1,5 % bis 2 % erfolgen, so dass das Kondensat abgeleitet werden kann (Energieagentur NRW, 2003) (www.effiziento.de).

5.8.6 Anwendung der L-EWT in landwirtschaftlichen Gebäuden und Einfluss des Erdwärmetauschers auf das Stallklima

Eine konventionelle Stalllüftung wird in der Regel für die Stalltemperatur, welche im Sommer maximal 2 bis 3 °C über der Umgebungstemperatur liegt, ausgelegt. Dank dem Erdwärmetauscher kann die Stalltemperatur erheblich unter die Außentemperatur gesenkt werden (Abb. 5.48). Die Temperatursenkung hängt von der Verlegetiefe der Rohre ab. Eine Verlegetiefe von 3 m erlaubt gegenüber 1,5 m etwa um 1,5 °C tiefere Stalltemperaturen. Mit tieferen Stalltemperaturen ist allerdings auch eine höhere Luftfeuchtigkeit verbunden. Die Aufbereitung der Zuluft in einem Erdwärmetauscher führt zu einem ausgleichenden Stallklima (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997).

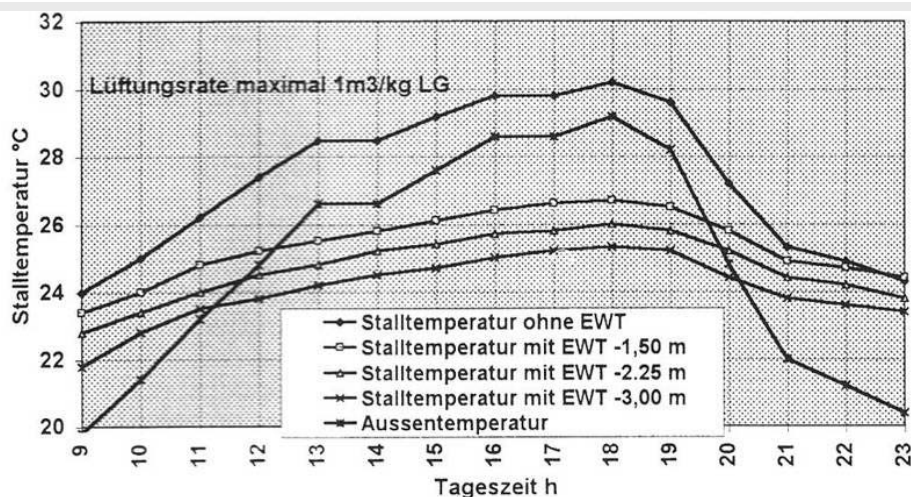



Abb. 5.48: Berechnete Stalltemperatur in einem Mastschweinstall ohne und mit Aufbereitung der Zuluft (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997)

BARTOLOMEU (2005) hat eine Untersuchung der Leistung eines Erdwärmetauschers in einem Schweinstall in „Brittany/Frankreich“ durchgeführt. Benutzt wurde ein Mastschweinstall für 48 Mastplätze mit 3 m tiefem Güllelager unter dem Stall, dem durch Deckenrieselung über Ventilatoren die Frischluft aus einem Erdwärmetauscher zugeführt wurde. Der Wärmetauscher besteht aus 18 Rohren mit 16 cm Nennweite und 25 m Rohrlänge. Die Rohre liegen 2, 2,5 und 3 m

tief und beginnen in einem Betonschacht von 3,15 m Tiefe. Über die gesamte Berichtsperiode betrug die Dämpfung der Tagesamplitude der Temperaturen fast 90 %, gemessen an Ein- und Ausgang des Wärmetauschers. Während die Außentemperaturen zwischen Februar und Juli 2004 zwischen -2 °C und $+32\text{ °C}$ lagen, betrugen die Maximaltemperaturen im Stall zwischen 9 °C (April 2004) und 19 °C (September 2003) bei den 3 m tief verlegten Rohren. Damit ist die Schwankungsbreite der Bodentemperatur mit dem Faktor 3 kleiner als die der Lufttemperatur. Außerdem wurde bei den Rohren in 3 m Tiefe eine zeitliche Verschiebung von 2 Monaten zwischen Lufttemperatur und der Temperatur im Boden festgestellt. Offensichtlich ist die Leistung eines solchen Systems von diesem Intervall abhängig.

Im Sommer, da es große Schwankungen der Außenlufttemperatur gibt, erreichten die Temperaturen am Tag 32 °C und in der Nacht $15,6\text{ °C}$ (Unterschied $16,4\text{ °C}$), während die Temperatur am EWT- Ausgang bis 3 K weniger beträgt als die tägliche Schwankung. Im Winter liegen die Temperaturschwankungen zwischen $-1,9$ und $7,7\text{ °C}$ und die Temperatur nach dem EWT ca. $0,5\text{ °C}$ erreicht (Tab. 5.08).

Tab. 5.08: Versuchsergebnisse und Darstellung des Versuchsaufbaus (BARTOLOMEU, 2005)

Jahreszeit	Außen- temperatur [°C]	Temperatur am Austritt [°C]	Temperatur am Boden [°C]	Luft- durchsatz [m ³ /h/Tier]	
Winter	3,2±2,5	8,9±1,7	10,3±2,3	20±28	
Sommer	22,0±4,5	17,2±1	15,3±0,6	53±9,1	

SHARAN (2008) weist darauf hin, dass ein großer Teil Indiens arides und semiarides Klima hat. Die Tierhaltung hat Probleme mit dem Futter und klimabedingtem Stress, insbesondere Hitze. Die Produktivität der Rinder ist niedrig. Die Kontrolle des Umwelteinflusses landwirtschaftlicher Gebäude zur Tierhaltung stellt eine besondere Herausforderung in semiariden Gebieten dar. Erdwärmehaube scheinen das geeignete System für den Landwirtschaftssektor in ariden Gebieten zu sein. SHARAN und RATAN (2003) haben einige Versuche im Bereich Erdwärmehaube durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass der EWT in der Lage ist, die Umgebungslufttemperatur um bis zu 14 °C im Mai zu reduzieren. Es wurde festgestellt, dass der Erdwärmehaube eine vielversprechende Methode zum Abkühlen oder Erwärmen von Umgebungsluft für eine Vielzahl von Anwendungen in Gebäuden zur Tierhaltung oder in Gewächshäusern ist.

KAPITEL

6

Praktische Versuchsausführung zu Baumaterialien**6.1 Einleitung**

Die Suche und Schaffung moderner Alternativen für Milchviehställe in semiariden Gebieten unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen ist das Hauptziel dieser Arbeit. Die neuen Vorschläge bauen in erster Linie auf die Nutzung der natürlichen Lüftung und natürlicher Baumaterialien auf, um die Innentemperatur eines Gebäudes (Stall) zu reduzieren. Für die Stallkühlungsmethoden, die in den Lösungsvorschlägen unterstellt werden, werden ihre Prinzipien aus der Literatur übernommen und weiterentwickelt. Für die Verwendung der Baumaterialien in der Gebäude- und Stallkühlung sowie zur Dachgestaltung werden einige Versuche durchgeführt, damit ihre Ergebnisse in den Vorschlägen verwendet werden können.

Die Versuche werden angestellt, um grundsätzliche Informationen zu folgenden Punkten zu bekommen:

- ob ein Verhältnis zwischen Dach (Gestaltung, Baumaterial und Farbe) und der Außen- und Innentemperatur besteht (Versuche V_{1A} und V_{1B});
- das Verhalten der Wärmeleitung und -speicherfähigkeit von Baustoffen zur Entwicklung von Baumaterialien, um Gebäude (Stall) zu kühlen (Versuche V_2 und V_3).

Der sommerliche Wärmeschutz gewinnt nicht nur durch Richtlinien des Gesetzgebers (allerdings bezogen auf allgemeine Hochbaumaßnahmen), sondern auch wegen der Belastungen der Tiere durch Hitzestress (und der immer mal wieder auftretenden Todesfälle in Tierställen) zunehmend an Bedeutung. Dabei stellt sich die Frage, ob es möglich ist, durch entsprechende Materialwahl und Außenwandkonstruktionen den Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung in das Gebäude zu minimieren und durch Wärme speichernde Eigenschaften die Energiebilanz in den Wintermonaten positiv zu beeinflussen.

In verschiedenen Versuchsanstellungen in der Klimakammer des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung sowie im Außenluftbereich auf dem Gelände der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig wurden der Einfluss von Sonneneinstrahlung sowie Wärmeleitung und Wärmespeicherung unterschiedlicher Baustoffe untersucht, mit der Zielsetzung Aufschluss darüber zu erhalten, ob die Materialwahl den Einfluss der sehr unterschiedlichen Tagestemperaturen kompensieren kann. In ariden und semiariden Gebieten sinkt in den Sommermonaten die Lufttemperatur von ungefähr 32 °C nachts auf 17 °C ab, so dass der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht 15 K beträgt.

Der Wärmeeintrag über die Hüllflächen eines Stalles (Gebäude) hat einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die herrschende Innentemperatur und damit auf das Lüftungsverhalten und auf das Wohlbefinden der Tiere. Ausschlaggebend für den Wärmedurchgang ist die Ober-

flächentemperatur des Daches und der Außenwände. Material- und Farbauswahl, Konstruktionsaufbau und Himmelsrichtung sind wichtige Einflussfaktoren, die sinnvoll zur Regulierung der Innenraumtemperatur genutzt werden können.

Die Versuche müssten grundsätzlich unter den klimatischen Bedingungen der semiariden Gebiete gestellt werden, aber wegen der Rahmenbedingungen der Arbeit wurden sie in Braunschweig (Deutschland) durchgeführt. Deshalb fiel die Entscheidung für den Zeitraum der Versuche auf die Sommermonate, da die Lufttemperatur mehrmals 35 °C erreichte und das ist ähnlich wie die klimatische Situation der semiariden Gebiete.

Um die Versuche unter entsprechenden Rahmenbedingungen durchführen zu können, mussten auch Informationen über die Sonneneinstrahlung in Deutschland analysiert werden, damit diese vor und während der Versuche berücksichtigt werden können.

■ Einige Informationen über die Sonnenstrahlung in Deutschland

Der Sonnenschein hat im Allgemeinen drei Faktoren, um Flächen zu erwärmen: Strahlung, Dauer und Neigungswinkel. Die solare Globalstrahlung, die auf die Erdoberfläche trifft, setzt sich aus Diffusstrahlung und Direktstrahlung zusammen. Die Stärke der Globalstrahlung hängt von der geographischen Breite, von der Tages- und Jahreszeit sowie von Witterungsbedingungen ab (Tab. 6.01).

Tab. 6.01: Spezifische Strahlungsleistung und Anteil der diffusen Strahlung bei verschiedenen Wetterbedingungen (LADENER und SPÄTE, 2003)

Situation	Einstrahlung [W/m^2]	Diffusanteil [%]
blauer Himmel	800 - 1000	10
dunstiger Himmel	600 - 900	bis 50
nebliger Herbsttag	100 - 300	100
trüber Wintertag	50	100
Jahresdurchschnitt	600	50 - 60

In Mitteleuropa beträgt die Globalstrahlung 900 bis 1100 kWh (in Gebirgen bis 1400 kWh) je 1 m^2 und Jahr. In Deutschland ist die Sonneneinstrahlung etwa halb so stark wie in der Sahara, die Werte liegen zwischen 900 - 1300 kWh/ m^2 . Die Sonne strahlt auf jeden Quadratmeter im Jahr der Bundesrepublik so viel Energie, wie in 100 Litern Öl enthalten ist. Etwa 1/3 des gesamten Endenergieverbrauches in Deutschland wird für die Beheizung von Gebäuden aufgewendet. Im Wüstengürtel der Erde beidseits des Äquators (in Nordafrika, Nahem Osten, Zentralasien, Süd- und Nordamerika und Australien) sind die höchsten Strahlungswerte erreichbar.

Die mittlere jährliche Globalstrahlung auf der Erdoberfläche bewegt sich insgesamt zwischen 800 und 2400 kWh pro 1 m^2 und Jahr (Abb. 6.01). Manche Solarsysteme benötigen direkte Strahlung. In den meisten Fällen kann aber sowohl die direkte als auch die diffuse Strahlung genutzt werden. Für heiße Klimaregionen versucht man sogar direkte und starke Sonnenstrahlung zu vermeiden. Die Sonnenscheindauer beträgt für etwa 50 % der Bundesrepublik 1600-1900 Stunden pro Jahr. Die Abbildung 6.02 zeigt die durchschnittliche Sonnenscheindauer in Deutschland. Der höchste Sonnenstand herrscht am 21. Juni und beträgt zwischen 59° im Norden und 65° im Süden. Die flachste Neigung findet am 21. Dezember statt und liegt zwischen 12° im Norden und 18° im Süden.

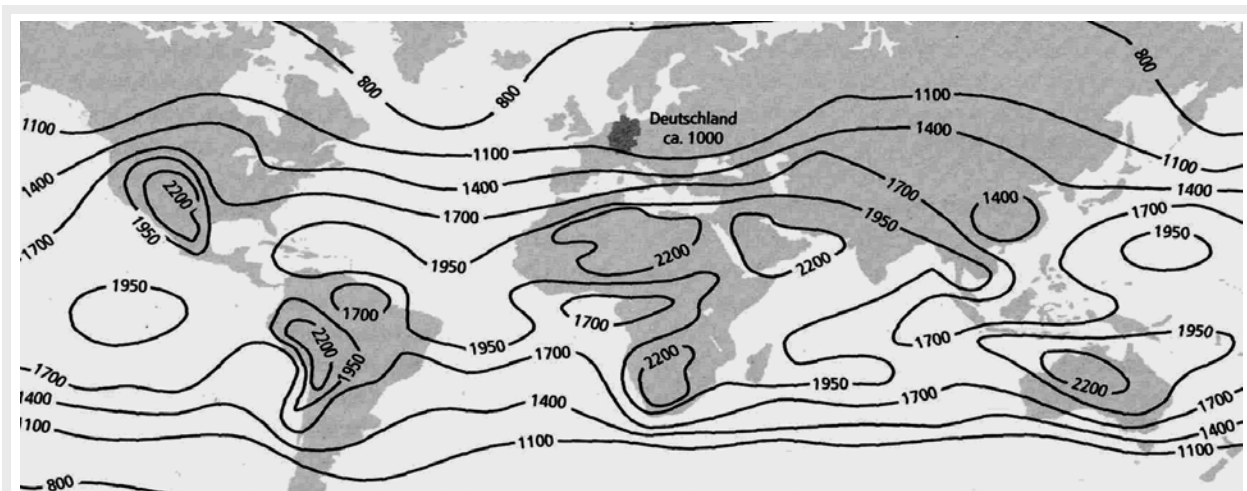


Abb. 6.01: Mittlere jährliche Globalstrahlung auf waagerechte Flächen in $[kWh/m^2]$ (STOY, 1980)

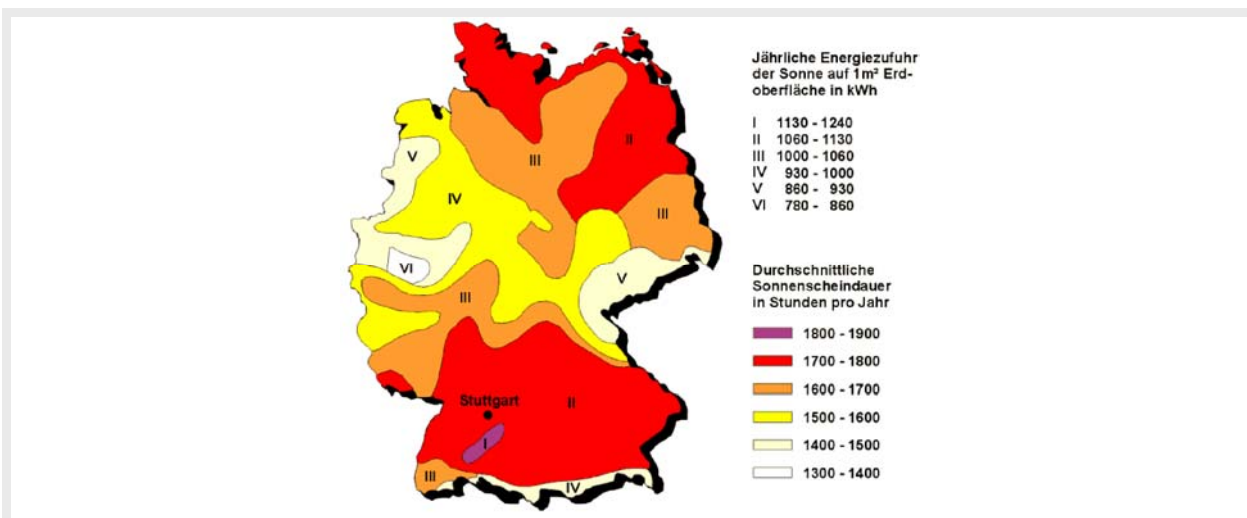


Abb. 6.02: Durchschnittliche jährliche Sonnenscheindauer und Globalstrahlung in der Bundesrepublik (www.stmwivt.bayern.de)

6.2 Versuche: Dachneigung

Das Dach hat seit Beginn der Menschheit in erster Linie Schutzfunktion. Dem Bedürfnis der Menschen entsprechend hat man über alle Zeiten der Baugeschichte die schützende Funktion des Daches verbessert, und das „schützende Dach“ ist sogar zum Symbol geworden. Heute gehören zu den standardmäßigen Schutz- und Nutzungsfunktionen des Daches die Abwehr gegen äußere Einflüsse wie Regen, Schnee, Wind, Hitze und Kälte ebenso wie gegen Feuer, Strahlung, Schadstoffe und Ablagerungen, aber auch der Schutz vor Einflüssen von innen, wie Feuer, Geruchs- und Lärmemissionen. Eine der Schutz- und Nutzungsfunktionen des Daches ist die gegen extreme Temperaturen und Strahlung. Das Dach ist in besonderer Weise den Temperaturschwankungen ausgesetzt. Bei Sonnenschein heizt sich die Dachfläche im Laufe des Tages auf und kühlt in der Nacht ab. Diese kurzfristigen Temperaturintervalle werden längerfristig durch die Jahreszeiten beeinflusst. Die Folge von Temperaturschwankungen sind materialabhängige Maßänderungen. Gerade bei schuppenartig verlegten kleinformatischen Bedachungsmaterialien wird die temperaturbedingte Dehnung bzw. Schwindung gut abgetragen.

6.2.1 Beispiele für bisherige Versuche

Die Sonnenstrahlung hat großen Einfluss auf die Erwärmung der Außenflächen des Gebäudes und insbesondere des Daches. Deutschland liegt in gemäßigten Klimazonen zwischen dem 47 und dem 55 N Breitengrad. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt etwa 9 °C.

Die meisten Forschungen zur Nutzung der Sonnenstrahlung zielen darauf ab, wie diese genutzt werden kann, um Gebäude zu erwärmen, z.B. von MITTERMAIR et al. (1995) und WEIß (1993). Ihre Ergebnisse zeigen, bei welcher Dachneigung die Sonnenstrahlung am besten genutzt wird, um das Dach und die Sonnenkollektoren zu erwärmen. Diese optimale Neigung der Kollektoren ist allerdings je nach Jahreszeit verschieden, da die Sonne im Sommer höher steht als im Winter. Bei einer nach Süden orientierten Fläche ergibt sich im Sommerhalbjahr der größte Energiegewinn bei einer Neigung von 20 bis 30 Grad. In den Wintermonaten wäre der günstigste Winkel etwa 60 Grad. Generell sollten Solaranlagen, die sehr gute Ganzjahresträge erzielen, Neigungswinkel in Deutschland zwischen 30 und 50 Grad aufweisen (Abb. 6.03 und Abb. 6.04).

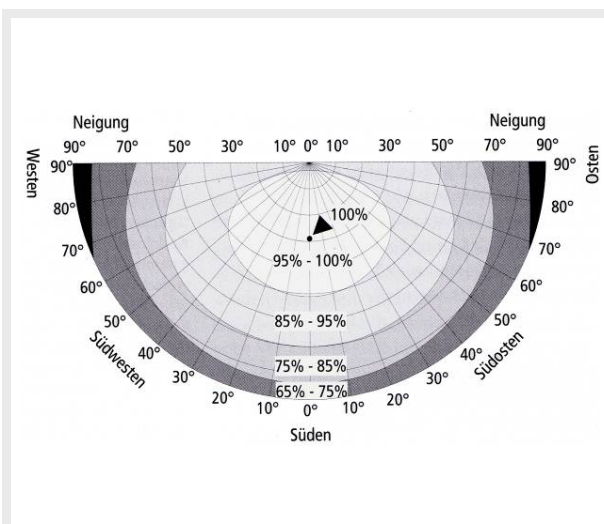


Abb. 6.03: Einfluss des Neigungs- und Azimutwinkels auf die relative Einstrahlung (MITTERMAIR et al., 1995)

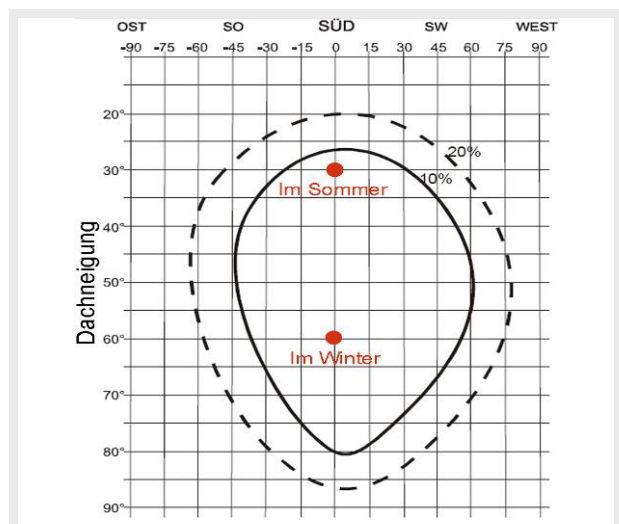


Abb. 6.04: Ideale Ausrichtung und Neigung des Daches auf die eingestrahelte Energie mit der möglichen Abweichung (WEIß, 1993)

Neben dem Faktor des Sonnenscheins spielt das Dachmaterial eine wichtige Rolle für die Innentemperatur von Gebäuden. Im Jahr 2003 wurden von HAAKE und BOCKISCH mehrere Versuchsanstellungen mit verschiedenen Dacheindeckungsmaterialien bei unterschiedlicher Farbgebung durchgeführt, die Aufschluss darüber geben, wie sich Farbe, Material und geographische Ausrichtung auf die Innentemperatur unmittelbar unter der Dachhaut auswirken. Die Ergebnisse zeigen, dass die Temperaturdifferenzen im Sommer mehr als 30 K betragen, je nach verwendetem Material und Ausrichtung der Dachflächen. Die gemessenen Höchstwerte für sechzehn Varianten bewegen sich in einem Bereich zwischen 26,6 °C bei roter Oberfläche und Ausrichtung nach Norden sowie 66,2 °C bei anthrazitfarbener Beschichtung auf der Südseite. Auch im Winter, bei Außentemperaturen um den Gefrierpunkt, werden bei klarem Himmel durch Sonneneinstrahlung noch Oberflächentemperaturen von deutlich über 20 °C erreicht (Abb. 6.05).

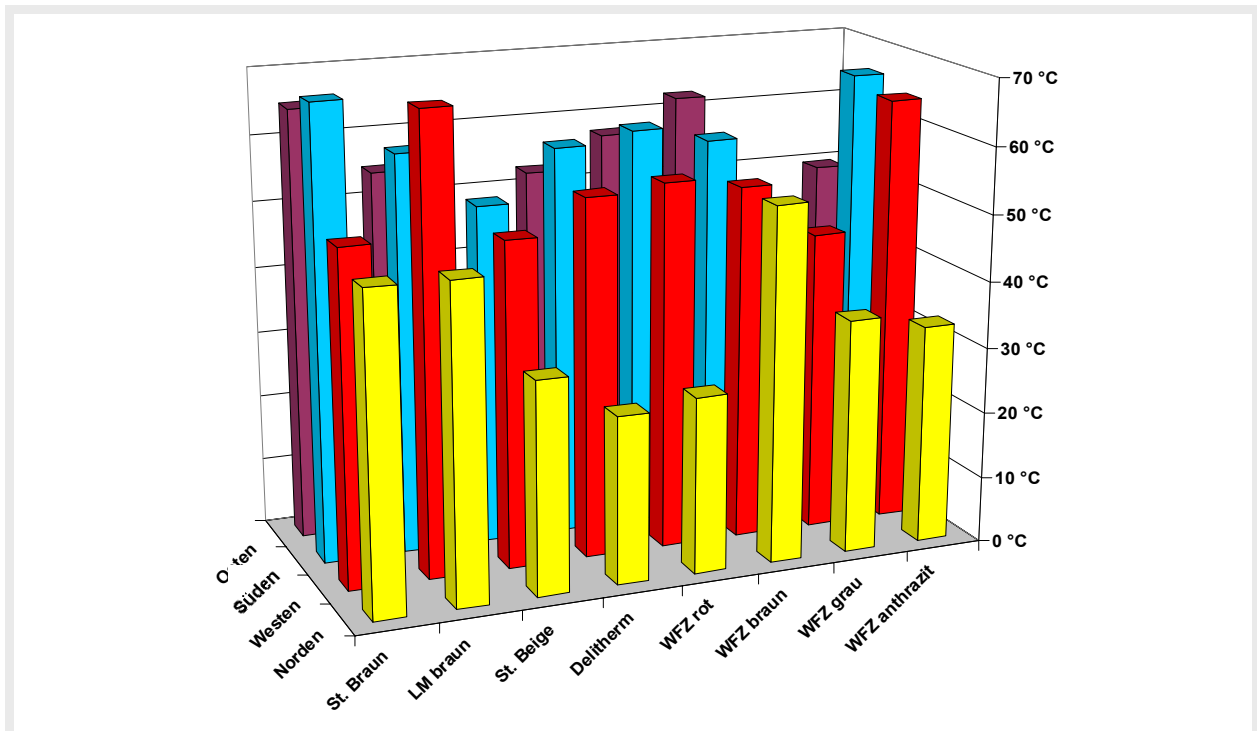


Abb. 6.05: Gemessene Höchsttemperaturen auf der Oberfläche von Faserzement-Wellplatten (HAAKE und BOCKISCH, 2003)

6.2.2 Versuch (V_{1A}): Auswirkung der Dachneigung und -beschichtung auf die Oberflächentemperatur

6.2.2.1 Verlauf des Versuches

Für diesen Versuch wurden zwei Betonplatten mit den Abmessungen 30 x 30 x 8 cm benutzt. Gewicht jeder Platte ist ca. 16,5 kg und das entspricht einer Rohdichte von 2300 kg/m³. Bei den nach Süden ausgerichteten Betonplatten – Variante 1, unbehandelt mit naturgrauer Oberfläche und Variante 2, mit allseitig weißer Beschichtung – wurden im Zeitraum zwischen dem 22. Juli 2004 und dem 05. September 2004 die Oberflächentemperaturen an Ober- und Unterseite und mit der Lufttemperatur im Schatten gemessen. Im Verlauf der Versuchsanstellung wurden die Neigungswinkel beider Betonelemente von 0° bis 90° variiert, so dass auch Schlussfolgerungen für Wandkonstruktionen gezogen werden können. Für die Messungen der Oberflächentemperaturen an Ober- und Unterseiten der beiden Betonplatten wurden NiCr-Ni-Sensoren verwendet. Die Abbildung 6.06 zeigt die zeichnerische Darstellung des Versuchs und die gemessenen Parameter.

Für die Versuchsausführung wurden die aktuellen Werte der Globalstrahlung für den Standort Braunschweig vom Deutschen Wetterdienst (DWD) übernommen. Die Sonnenscheindauer und der Sonnenscheinwinkel wurden durch ein Programm auf der Webseite www.stadtklima-stuttgart.de errechnet. Die Abbildung 6.07 zeigt ein Beispiel dieses Programms und erklärt, wie man die Informationen über einen Standort, Datum und Zeit im Programm eintragen kann, um die gewünschten Informationen über den Sonnenstand zu haben.

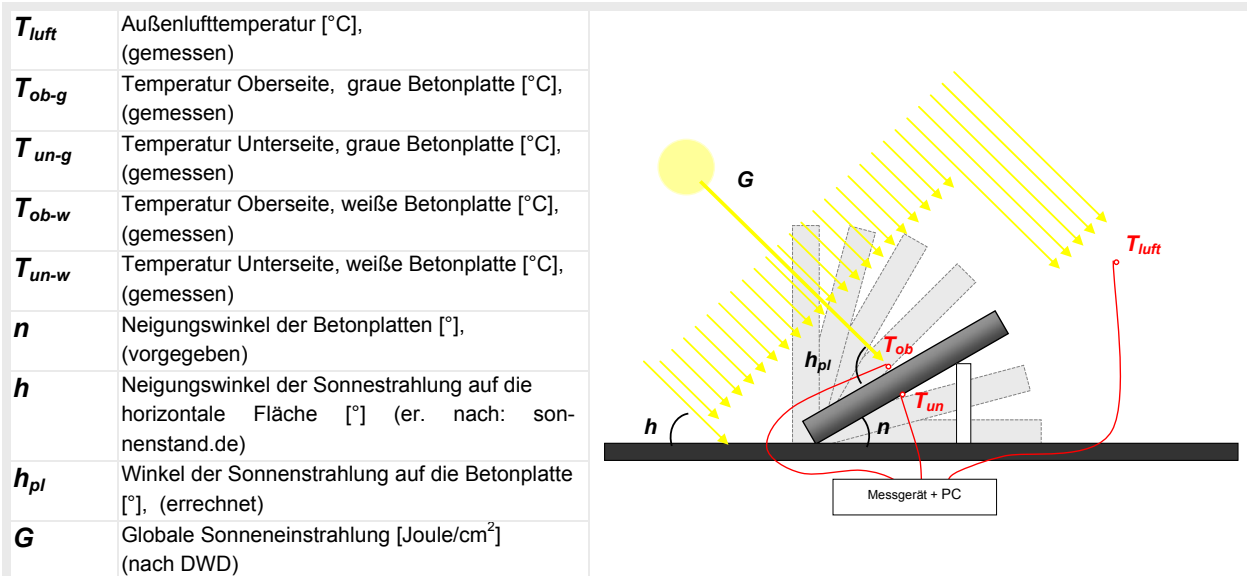
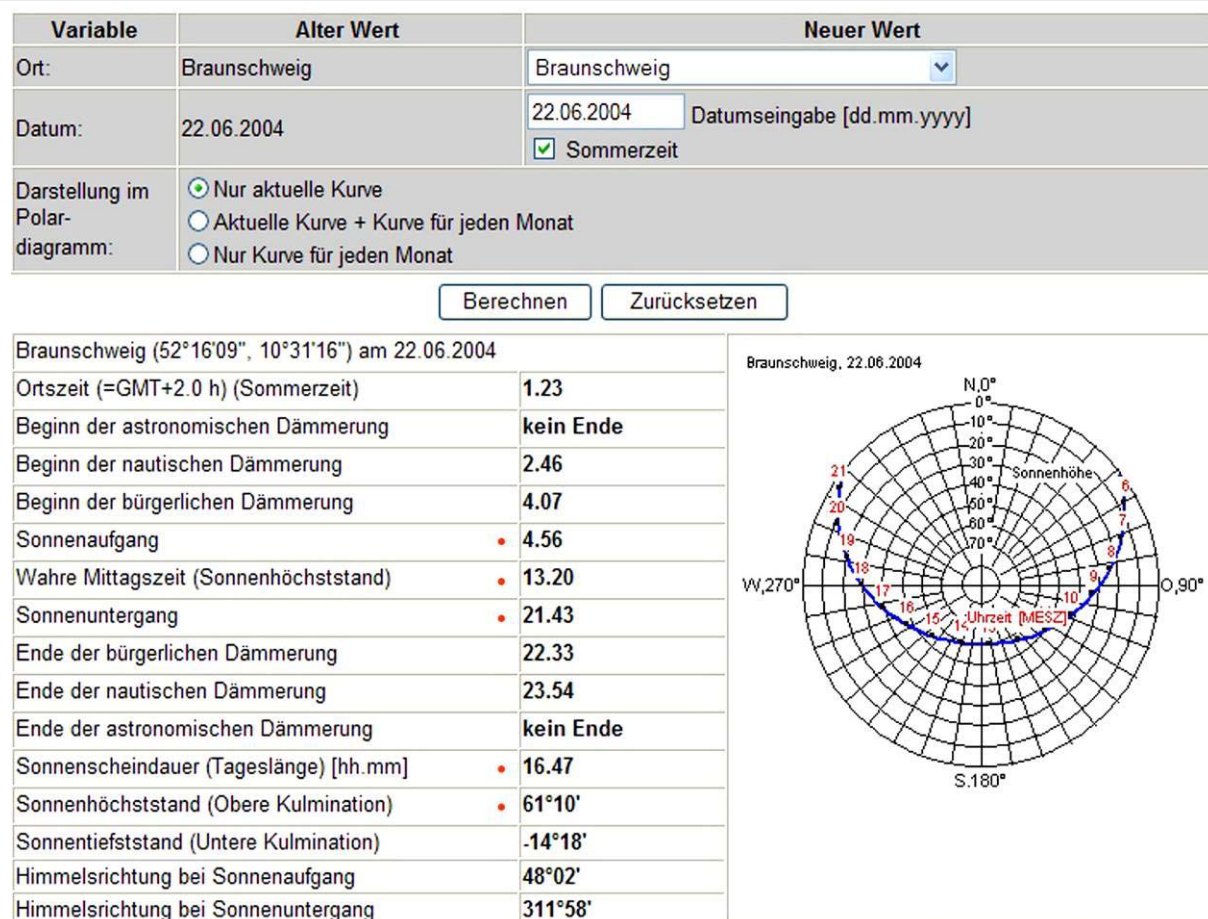


Abb. 6.06: Versuchsdarstellung und gemessene Werte

Abb. 6.07: Beispiel eines Programms zur Errechnung des Sonnenstands (www.stadtklima-stuttgart.de)

6.2.2.2 Ergebnisse und Auswertung

Nach Ende des Versuchs wurden mehr als 20 000 Messdaten ausgewertet und mit anderen Klimadaten wie Sonnenstand und Globalstrahlung verglichen. Im Anhang (2), Tabelle A2.01 (S. 269) wurden die Ergebnisse zusammengefasst. Sie zeigen die maximale Außenlufttemperatur, die Oberflächentemperatur beider Betonplatten, den Neigungswinkel der Sonnenstrahlung, den Aufstellwinkel der Betonplatten sowie die Globalstrahlung während der höchsten Lufttemperatur.

Auch wurden die Versuchsergebnisse in sieben Phasen geordnet. In Jeder Phase wurde bewertet:

1. der Zeitraum des Versuchs (Zeitdauer),
2. der Neigungswinkel der Betonplatte,
3. der Neigungswinkel der Sonnenstrahlung,
4. die Höchsttemperatur an zwei ausgewählten Tagen und
5. Informationen über den Sonnenstand für jede Phase.

Jede Phase der Versuchsanstellung wurde durch Fotos von den Betonplatten dokumentiert. Die Phasen sind im Anhang (2) in den Abbildungen A2.02 bis A2.09 (S. 272 - 275) dargestellt.

Die Abbildungen 6.08 und 6.09 zeigen Diagramme für vier Tage des Versuchs (Neigungswinkel 60° und 90°). An einem Tag hat die höchste Außenlufttemperatur ca. 36°C erreicht (entspricht typischem Tag in semiariden Gebieten). Wenn die Außenlufttemperatur 30°C erreicht hatte, war die Oberseitentemperatur der grauen Platte 50°C . In der gleichen Zeit war die Temperatur der Oberseite der weißen Platte etwa 35°C .

Die Auswertung dieses Beispiels und auch der gesamten Versuchsdaten zeigen folgende Ergebnisse:

- Die Temperaturen bei Sonnenstrahlung liegen auf der unbehandelten grauen Betonplatte an deren Oberseite um mehr als 15 K über (denen von Unterseite und) der Außenluft.
- Die Oberflächentemperaturen an Ober- und Unterseite der weiß beschichteten Betonplatte entsprechen nahezu der gemessenen Lufttemperatur im Schatten.
- Die weiße Beschichtung minimiert folglich die Oberflächentemperatur auf der der Sonne zugewandten Seite. Die Beschichtung - und damit die Reflexion der Wärmestrahlung - hat aber keinen nachhaltigen Einfluss auf die Temperatur der luftumspülten Unterseite.
- Die Temperaturunterschiede der beiden Platten und der Lufttemperatur sind größer, wenn die Globalstrahlung und die Sonnenneigung am höchsten ist (zwischen 13 - 14 Uhr) und nicht durch die höchste Temperatur. Das bedeutet, dass die Platten durch die Sonnenstrahlung mehr als durch die Lufttemperatur beeinflusst werden.
- Der Temperaturunterschied zwischen Ober- und Unterseite der grauen Betonplatte beträgt bis 5 K, bei der weißen Platte ist er ca. 2 K.
- Bei den weißen und grauen Betonplatten könnte die Beurteilung der Unterseitentemperatur nicht richtig sein, weil sich auf die Unterseitentemperatur Einflüsse von Sonnenstrahlungsreflexion, Erwärmung des Bodens, Lüftung usw. auswirken.

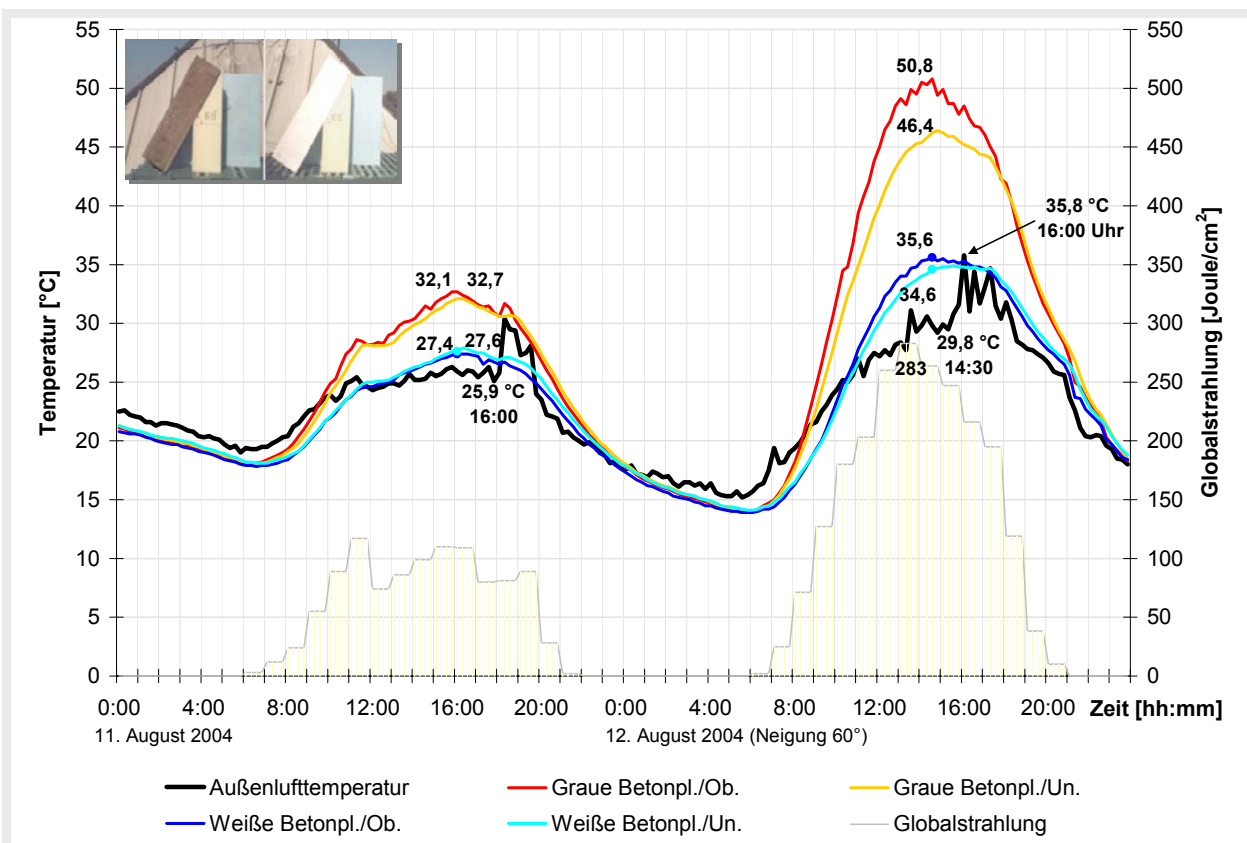


Abb. 6.08: Gemessene Lufttemperatur und Oberflächentemperatur der grauen und weißen Betonplatten (Neigung 60°)

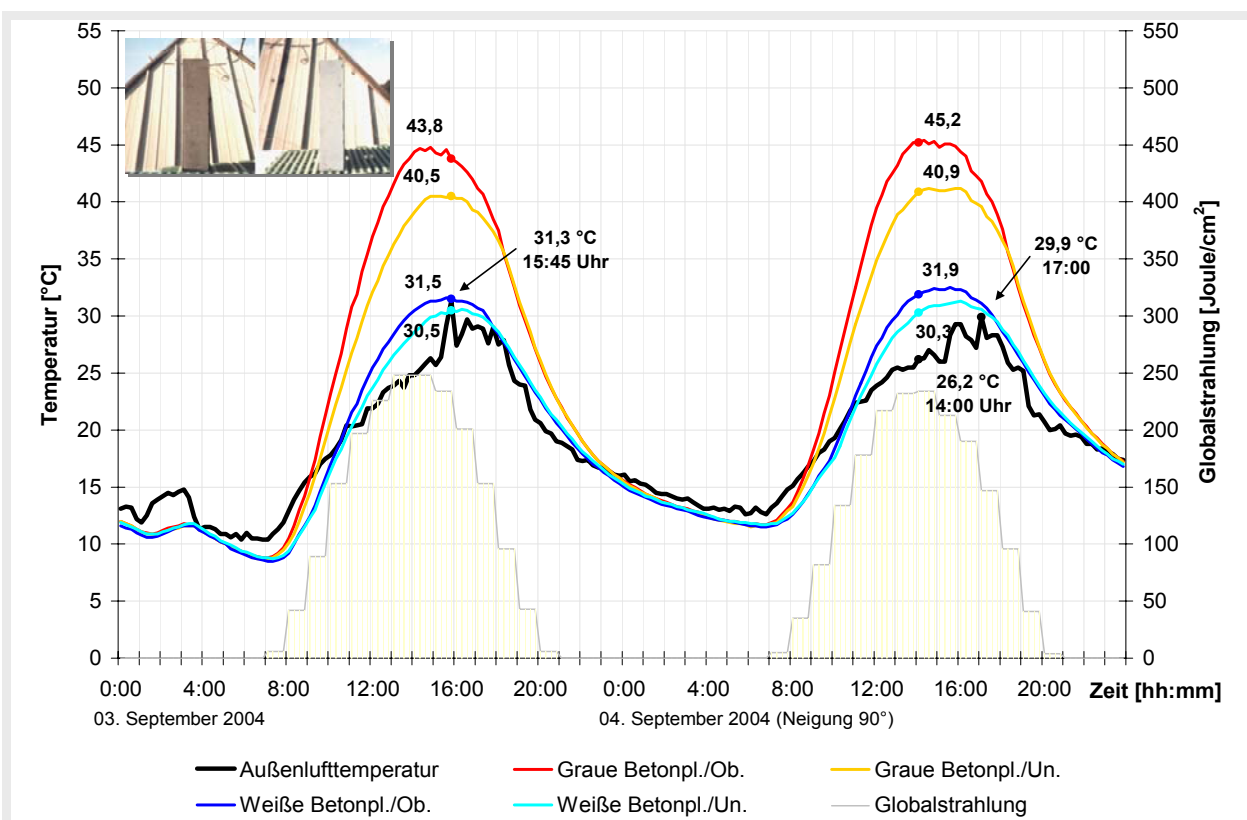


Abb. 6.09: Gemessene Lufttemperatur und Oberflächentemperatur der grauen und weißen Betonplatten (Neigung 90°)

6.2.3 Versuch (V_{1B}): Erwärmung geneigter weißer Flächen durch Sonneneinstrahlung

6.2.3.1 Verlauf des Versuches

In der ersten Versuchsanstellung wurde die Erwärmung der Oberfläche von weißen und grauen Betonplatten durch Sonnenstrahlung bei unterschiedlichen Neigungen von 0° bis 90° gemessen. Jeweils nach Ablauf von einigen Tagen wurden die Neigungswinkel beider Platten verändert, mit der Konsequenz, dass die Werte für die graue und die weiße Oberfläche nur bei gleicher Neigung verglichen werden können. Wegen der zeitlichen Abfolge und der geänderten Witterungsverhältnisse ist dieser Vergleich für unterschiedliche Winkel nur bedingt möglich.

Die zweite Versuchsanstellung sollte Aufschluss über die Auswirkung des Neigungswinkels einer Oberfläche zum Stand der Sonne (Strahlungswinkel) geben. Sieben Schwerbetonplatten mit den Abmessungen $30 \times 30 \times 8$ cm wurden – exakt nach Süden ausgerichtet – in unterschiedlichen Neigungen (in 15° -Schritten) von 0° - 90° positioniert. Die Oberfläche der Platten wurde mit weißer, matt glänzender Farbe beschichtet. Für die Temperaturmessungen wurden NiCr-Ni-Thermodrähte an Ober- und Unterseite montiert (Abb. 6.10).

Dieser Versuch wurde zwischen dem 29.06.2005 und dem 08.08.2005 auf dem FAL-Gelände (Braunschweig) durchgeführt (Abb. 6.11). Die Außenlufttemperaturen lagen in diesem Zeitraum mehrfach bei 35°C und die Globalsonnenstrahlung hatte mehr als 300 Joule/cm^2 erreicht (das entspricht etwa dem Klima in den semiariden Gebieten).

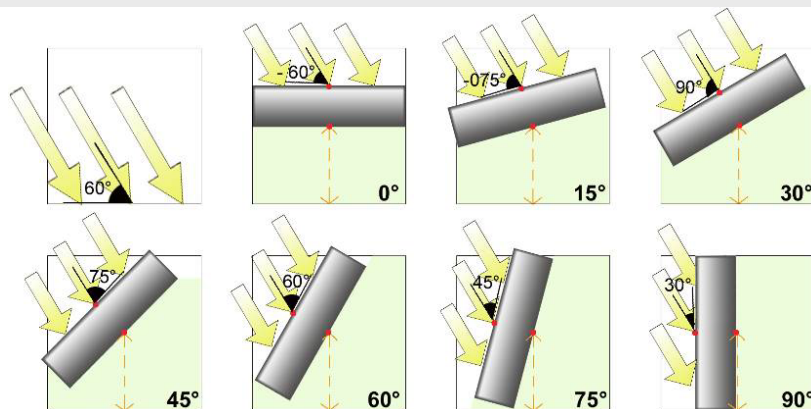


Abb. 6.10: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus



Abb. 6.11: Aufstellung der Betonplatten im Versuch mit der Ausrichtung nach Süden

6.2.3.2 Ergebnisse und Auswertung

In diesem Versuch wurden die Oberflächentemperaturen der Betonplatten gleichzeitig bei den sieben Neigungsvarianten unter gleichen Bedingungen der Außenlufttemperaturen, Sonnenstrahlung und Sonnenstand gemessen.

Ein gutes Beispiel für diese Ergebnisse ist der 29. Juli 2005. Die hohe gemessene Oberflächentemperatur betrug an diesem Tag um 14.45 Uhr bei der um 45° geneigten Platte (das entspricht einem Sonneneinfallswinkel auf die Fläche von 75°) 38,9 °C und lag damit um 5,9 °C höher als die gemessene Lufttemperatur. Die Unterseite hatte sich zu diesem Zeitpunkt auf 35,3 °C erwärmt. Die Messwerte fielen kontinuierlich auf 36,1 °C bei einem Winkel von 0° und 90° ab (Tab. 6.02). Die Abbildungen 6.12 und 6.13 zeigen das Temperaturverhalten bei den Betonplatten am 28. und 29. Juli 2005. Im Anhang (2) Abbildungen A2.01 bis A2.04 (S. 276 - 277) befinden sich die Temperaturmessungen an geneigten Betonplatten der ausgewählten Tage (10.-14., 18., 28. und 29. Juli).

Tab. 6.02: Beispielhaft die am 29. Juli 2005 gemessenen Temperaturen

Temperaturmessungen am 29. Juli 2005 um 14:15 Uhr

Lufttemperatur 33,0 °C	Sonnenstand 56,2°						
1. Oberflächenneigung	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
2. Einstrahlungswinkel der Sonne	-60°	-75°	90°	75°	60°	45°	30°
3. Oberflächentemperatur [°C]	36,1	37,9	38,8	38,9	38,2	37,5	36,1
4. Temperatur d. Unterseite [°C]	33,4	35,0	35,3	35,3	34,9	34,7	33,4

Für die Auswertung des Versuchs wurden zwei Methoden benutzt, um:

- A.** den Einfluss der höchsten Außenlufttemperaturen auf die Oberflächentemperatur ohne Berücksichtigung der Sonnenstrahlung und des Sonnenstandes und
- B.** den Einfluss der Außenlufttemperaturen auf die Oberflächentemperatur mit Berücksichtigung der Sonnenstrahlung und des Sonnenstandes (wenn die Sonnenstrahlung und der Sonnenstand am höchsten sind)

zu ermitteln.

Für die erste Methode wurden acht heiße Tage gewählt, an denen der maximale Wert der Außentemperatur mehr als 32 °C erreicht hatte. Alle gemessenen Daten der Oberflächentemperaturen der Betonplatten und auch die entsprechenden Lufttemperaturen sind im Anhang (2) in der Tabelle A2.10 (S. 278) festgehalten. In dieser Tabelle sind die Ober- und Unterseitentemperaturen vermerkt. Für die Oberseitentemperaturen der Platten wurden die gemessenen Temperaturen für jeden Neigungswinkel und für jeden ausgewählten Tag von 1 bis 7 aufgeführt. Es wurde Nummer eins ist für die kälteste Temperatur und Nummer sieben für die wärmste Temperatur angegeben (z.B. Nummer eins für die Oberseitentemperatur der Betonplatten mit Neigung 90° und Nummer sieben für die Neigung von 45°). Nach dieser Ordnung der Neigungen für die acht Tage wurden die Mittelwerte für jede Neigung und jeden Tag berechnet. Auf die gleiche Weise wurden die gemessenen Oberflächentemperaturen der Unterseiten ausgewertet. Die Tabelle 6.03 zeigt die Zusammenfassung der ausgewählten Ergebnisse.

Tab. 6.03: Klassifizierung der Neigungswinkel der Betonplatten von der kältesten und der wärmsten Oberflächentemperatur und der Zusammenhang mit der höchsten Lufttemperatur (nach Tab. A2.10, Anhang 2)

Oberseite der Betonplatten							
Neigung	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Ordnung	1/2	3	5	7	6	4	1/2
Unterseite der Betonplatten							
Außenluft	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Ordnung	2	4	5	7	6	3	1

Für die zweite Methode (Einfluss der Sonnenstrahlung und des Sonnenstandes), wurden acht Tage gewählt, die die höchste Sonnenstrahlung und Sonnenscheinneigung hatten. Für die Messung ausschlaggebend waren die Werte der maximalen Globalstrahlung und des höchsten Sonnenstandes. Die höchste Lufttemperatur ergab sich erst ca. zwei Stunden später.

Der höchste Sonnenstand fand im Juli (Zeit des Versuches) mit 60° und zwischen 13:00 und 14:00 Uhr statt. Die Globalstrahlung für die ausgewählten Tage hatte etwa 300 Joule/cm² erreicht und die Außenlufttemperatur lag bei ca. 33 °C.

Auch wurden die Oberflächentemperaturen der Betonplatten wie in der ersten Methode aufgeführt (s. Anhang 2, Tabelle A2.11, (S. 279)) und die Neigungen wurden wie in der folgenden Tabelle 6.04 klassifiziert.

Tab. 6.04: Klassifizierung der Neigungswinkel der Betonplatten von der kältesten und wärmsten Oberflächentemperatur und der Zusammenhang mit der höchsten Sonneneinstrahlung (nach Tab. A2.11, Anhang 2)

Oberseite der Betonplatten							
Neigung	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Ordnung	1	3	5	7	6	4	2
Unterseite der Betonplatten							
Außenluft	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Ordnung	2	4	5/6	7	5/6	3	1

Nach Auswertung der gesamten Versuchsdaten zeigen die Ergebnisse, dass die besten Neigungen für ein Absenken der Oberflächentemperaturen die Neigungswinkel 0° und 90° sind, danach kommen 15° und dann 75° zum Schluss 30°. Die geringste Wirkung zeigen Neigungen von 60° und 45° sind. Bei den weißen Betonplatten ist die Oberseitentemperatur um 1 - 5 K wärmer als die Lufttemperatur, während die Unterseitentemperatur meistens 1 - 3 K kälter ist als die Lufttemperatur.

Wenn man nun - in Anlehnung an die Empfehlungen für die Aufstellung von Solarkollektoren und Photovoltaikanlagen - folgert, dass bei einem Neigungswinkel von 45° resp. der rechtwinkligen Ausrichtung zur Sonnenstrahlung deutlich „bessere Werte“ zu erreichen sind, dass der Auftreffwinkel der Sonnenstrahlen von besonderer Bedeutung ist, so hat sich diese Hypothese im Laufe der Versuchsanstellung (Zeitraum 28. Juni bis 8. August 2005) bestätigt.

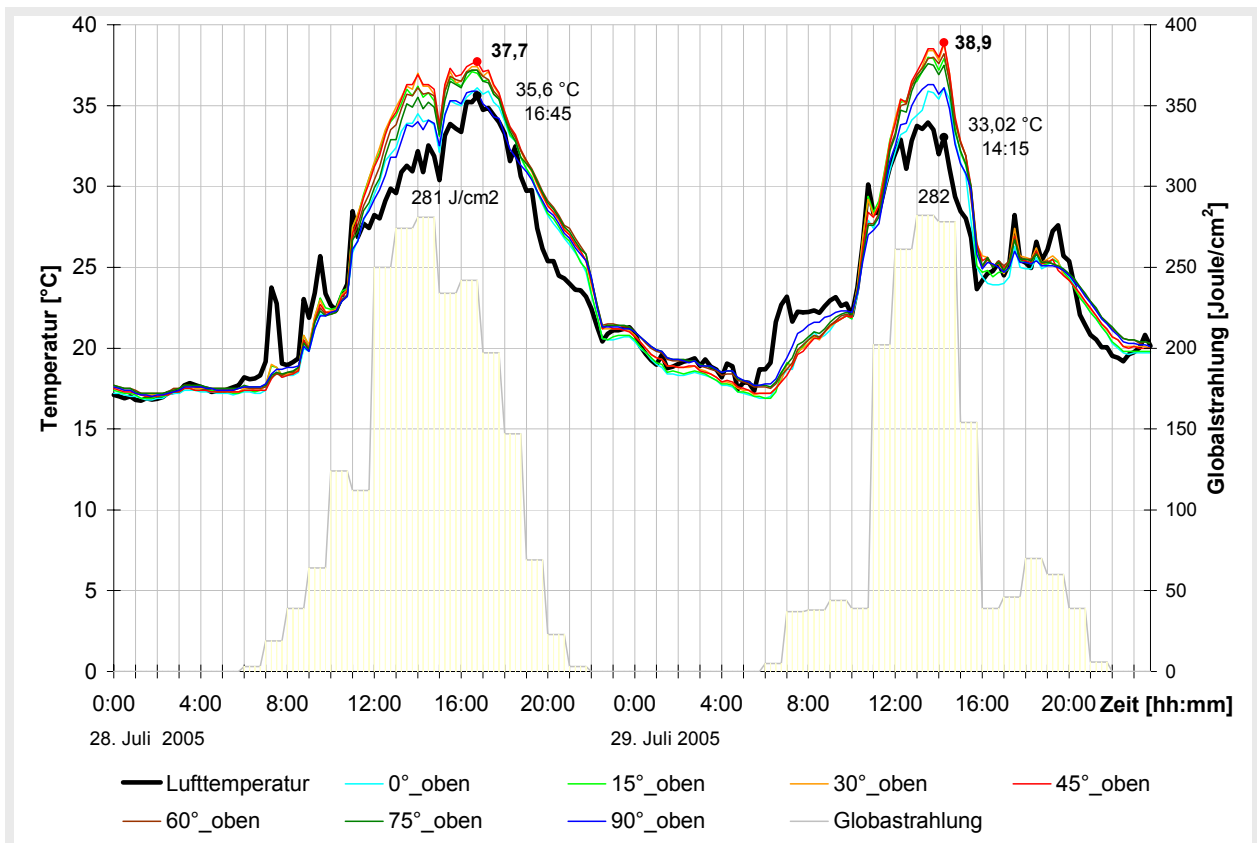


Abb. 6.12: Temperaturmessungen an der Oberseite geneigter und durch Sonnenstrahlung erwärmter Betonplatten

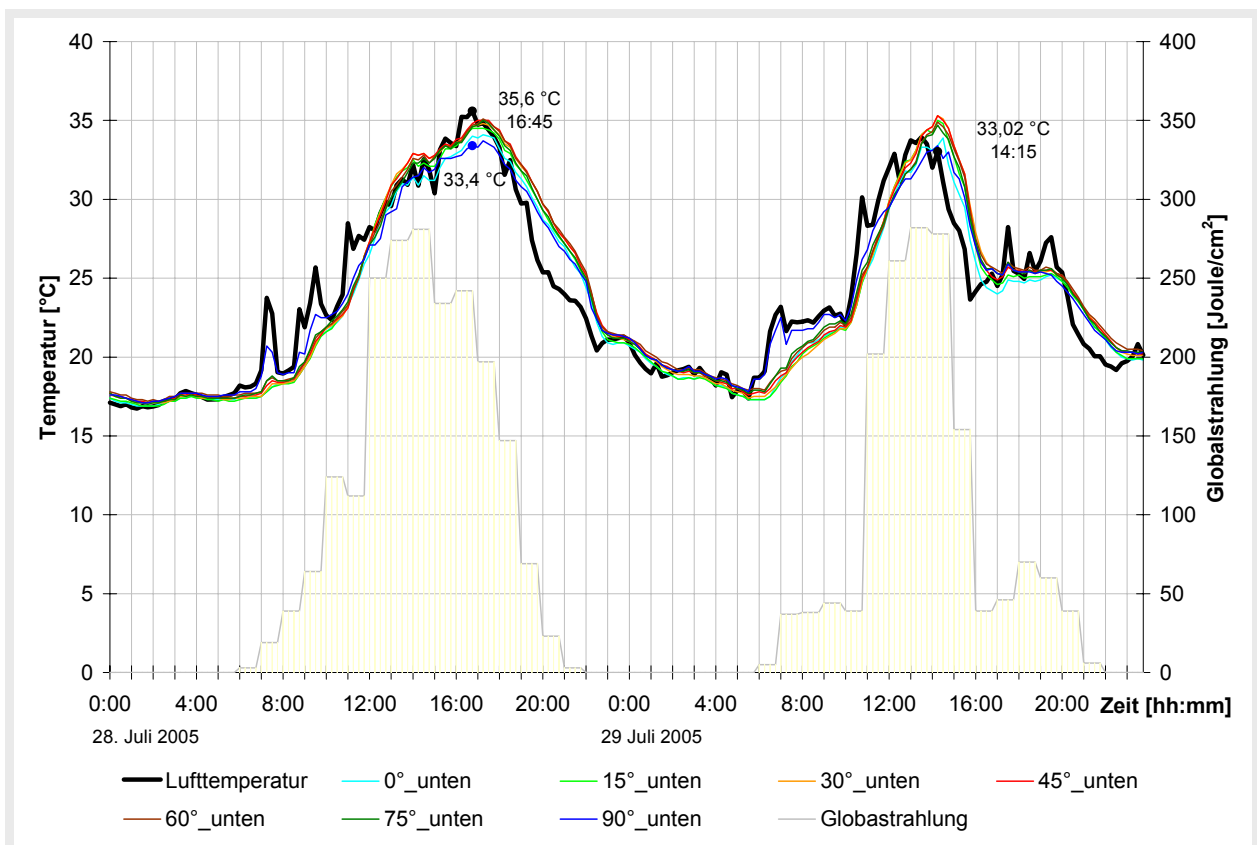


Abb. 6.13: Temperaturmessungen an der Unterseite geneigter und durch Sonnenstrahlung erwärmter Betonplatten

6.3 Versuche: Wärmedurchgang und Temperaturspeicherung bei Außenwänden

Bei vielen Stallgebäuden kommt es in den Sommermonaten zu sehr hohen und für die Tiere belastenden Innentemperaturen. Das gilt in besonderem Maße für die Länder des Nahen Ostens, die ariden und semiariden Gebiete. Da Stallgebäude aus Kostengründen nicht klimatisiert, d. h. gekühlt werden, gilt es, den Wärmeeintrag über die Hüllflächen zu minimieren.

Jeder Stall besteht wie jedes andere Gebäude aus (prinzipiell) sechs Hüllflächen, nämlich Grundfläche und Dach, sowie den vier nach Norden, Osten, Süden und Westen ausgerichteten Seitenwänden. Alle diese Hüllflächen wirken sich durch die jahreszeitlich bedingten Klimaeinflüsse, Materialwahl und die Konstruktion auf die Stallinnentemperatur aus.

- Die Sonneneinstrahlung und die Außenlufttemperatur spielen eine große Rolle bei der Erwärmung der Hüllflächen des Gebäudes - außerdem der Grundfläche -, somit haben sie einen starken Einfluss auf Wärmehaushalt und Behaglichkeit der Menschen und Tiere. Bei indirekter Sonneneinstrahlung beeinflusst die Außenlufttemperatur etwa gleichmäßig die Außenwände und das Dach, dem gegenüber wirkt die direkte Sonneneinstrahlung individuell an jeder Hüllfläche, und insbesondere auf der südlichen Seite. Die Oberflächentemperaturen der Hüllflächen hängen von der Stärke, Intensität und Dauer der Sonneneinstrahlung ab.
- Die Auswahl der Baustoffe, eine entsprechende Konstruktion der Hüllflächen und die Bauweise können einen wichtigen Beitrag leisten. So ist es bei der Verwendung von massiven Baustoffen möglich, den Wärmeübergang von der Oberfläche der Gebäudehülle in das Stallinnere bis in die kälteren Abend- und Nachtstunden zu verzögern.

Die vorrangigen Beweggründe und Ziele der Versuchsanstellungen sind im Wesentlichen:

- Auswirkung der Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperatur auf die Oberflächentemperatur jeder Seite eines Betonquaders, sowie die Temperaturunterschiede zwischen Außenlufttemperatur und Oberflächentemperatur,
- Wärmedurchgang jeder Seite des Betonquaders, sowie die zeitliche Verschiebung (Amplitudenverschiebung) innerhalb des Betonwürfels,
- Temperaturspeicherung und Phasenverschiebung bei verschiedenen Baustoffen zu messen und ermitteln.

6.3.1 Einführung Bisherige Versuche

6.3.1.1 Auswirkung der Sonneneinstrahlung auf Oberflächentemperatur in Bezug auf Materialwahl und Hüllflächentemperaturen

Die Auswirkungen unterschiedlicher Reflexionsgrade (Albedo) von Bodenflächen und Bauwerken und die Temperatur ausgleichende Wirkung von Vegetation durch Verdunstung wurde durch KRUSCHE et al. (1982) festgestellt. Über Seen und Wäldern ist die Temperatur um bis zu 20 °C niedriger als über Asphaltflächen. Während sich ein schwarzes Bitumendach bei starker Sonneneinstrahlung auf bis zu 95 °C aufheizt, beträgt die maximale Oberflächentemperatur eines Gründaches etwa 20 °C. Die Abbildung 6.14 stellt den Temperaturunterschied bei verschiedenen Materialien dar.

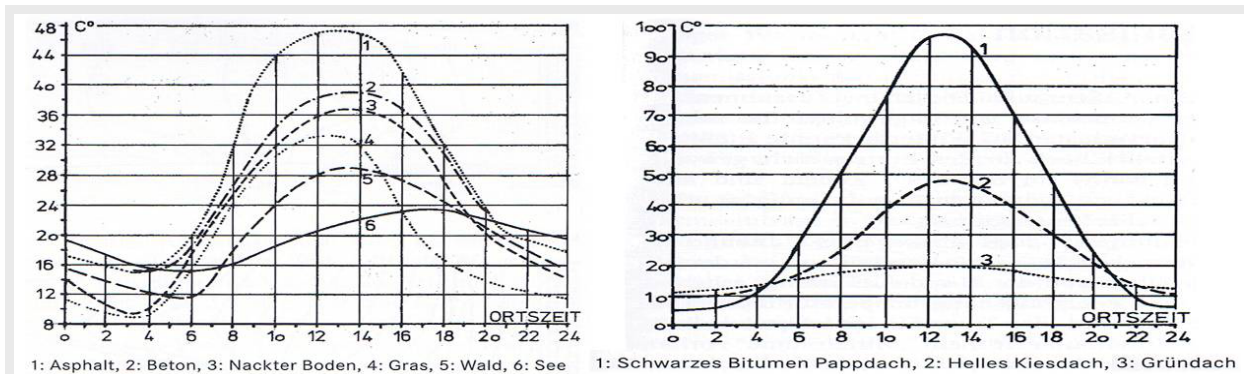


Abb. 6.14: Oberflächentemperaturen verschiedener Materialien an einem strahlungsreichen Sommertag (KRUSCHE et al., 1982)

Um den Einfluss der Sonnenstrahlung zu berücksichtigen, kann als Rechengröße die Sonnenlufttemperatur verwendet werden. Unter Sonnenlufttemperatur wird diejenige hypothetische Außenlufttemperatur verstanden, bei der die Wand ohne Bestrahlung denselben Wärmedurchgang hätte wie unter dem Einfluss der Bestrahlung bei der wirklichen Außentemperatur. Mit $17,5 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ und den Strahlungsintensitätswerten ergeben sich die in Abbildung 6.15 angegebenen Sonnenlufttemperaturen für die verschiedenen Tageszeiten und Himmelsrichtung. Bei periodisch veränderlicher Sonnenstrahlung schwankt die Oberflächentemperatur der Außenwand mit einer gewissen Amplitude annähernd um einen Mittelwert.

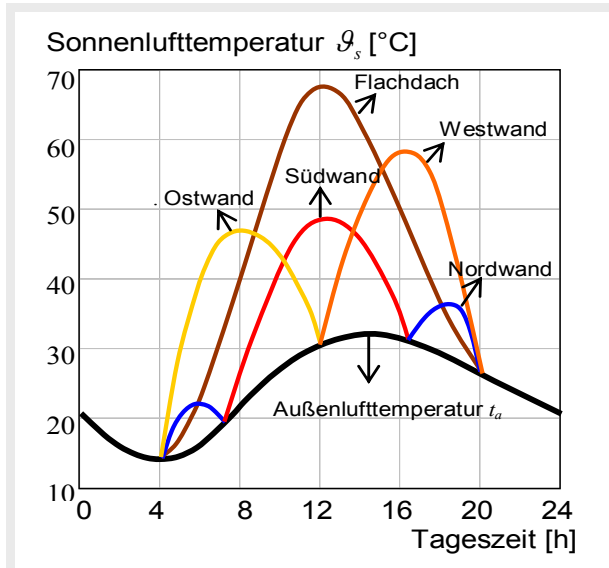


Abb. 6.15: Sonnenlufttemperaturen und Außenlufttemperaturen an Tagen mit max. Temperatur 32°C in Berlin (bearb. nach RECKNAGEL et al., 2005)

Diese periodische Änderung setzt sich in das Innere der Wand fort, jedoch mit einer gewissen zeitlichen Phasenverschiebung, d.h., das Temperaturmaximum tritt immer um eine gewisse Zeit später auf und mit einer geringeren Amplitude (RECKNAGEL et al., 2005).

6.3.1.2 Wärmespeicherung und Phasenverschiebung bei Baumaterialien und Bauweise

Jedes Material hat die Fähigkeit, Wärme aufzunehmen, sie zu speichern und wieder abzugeben. Wie viel Wärme ein Stoff speichern kann, hängt von seiner *Kapazität* und *Masse* ab. Die Speicherung ist desto größer, je größer die Wärmekapazität des Bauwerks ist. Da die spez. Wärmekapazität für alle Baustoffe annähernd groß ist, nämlich $\approx 900 \text{ J/kgK}$, kann man sagen, dass die Wärmespeicherung mit dem Gewicht der Umfassungsflächen zunimmt.

Die Wärmespeicherfähigkeit der Raum- und Umgebungsflächen hat einen Einfluss auf das Raumklima und die Behaglichkeit. Räume mit massiven Umgebungsflächen (Wände, Decken, Böden) speichern mehr Wärme als leichte Konstruktionen und wirken daher ausgleichend auf Temperaturveränderungen im Raum.

Die Abbildung 6.16 zeigt den Verlauf der Raumlufttemperatur an 10 aufeinanderfolgenden Sommertagen für Gebäude mit leichter und mit schwerer Bauweise. Während die Temperatur im Tagesverlauf bei leichter Bauweise um bis zu 4 °C schwankt, beträgt die Schwankung bei schwerer Bauweise lediglich 1 °C bis 1,5 °C. Dies zeigt die ausgleichende Wirkung der Speichermasse.

Die Abbildung 6.17 zeigt deutlich den Unterschied der Speicherwärme bei leichter und schwerer Bauweise, bezogen auf nach Süden gelegene Fenster. Bei leichter Bauweise (150 kg Masse sämtlicher Umfassungswände einschl. Fußboden je 1 m² Bodenfläche) beträgt das Maximum der Kühllast um 13.30 Uhr etwa 400 [W/m²], bei schwerer Bauweise (750 kg/m²) um 14.30 Uhr rund 220 W/m². Im letzteren Fall hat sich also durch die Berücksichtigung der Speicherung die Kühllast auf fast die Hälfte vermindert.

Die Phasenverschiebung hängt auch von Dämmstoffen ab, z.B. bei Mineralfaser beträgt die Phasenverschiebung etwa 7 Stunden, dem gegenüber bei Zellulose-Dämmplatten etwa 11 Stunden (Tab. 6.05). Günstig schneiden hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes Baukonstruktionen ab, die z.B. mit Zelluloseflocken oder Holzspänen gedämmt sind (hohe Amplitudendämpfung). Ungünstig geringe Amplitudendämpfung weisen Baukonstruktionen auf, die mit Mineralfasern oder Polystyrol gedämmt wurden (Abb. 6.18).

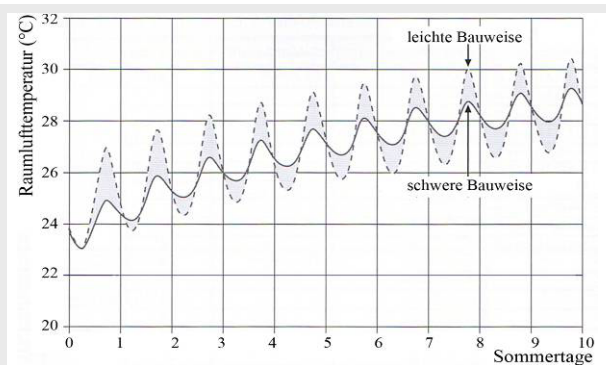


Abb. 6.16: Darstellung des Einflusses der Gebäudemasse auf den zeitlichen Verlauf der Raumtemperatur an Sommertagen (Wuppertal Institut für Klima, 1996 (In: FISCH, 2005))

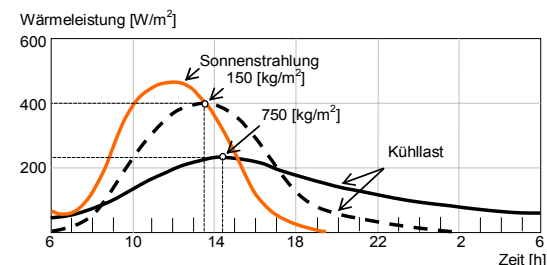


Abb. 6.17: Speicherung von Sonnenstrahlungswärme bei Fenstern auf Südseite für leichte und schwere Bauweise, 24-stündiger Betrieb (bea. n. RECKNAGEL et al., 2005)

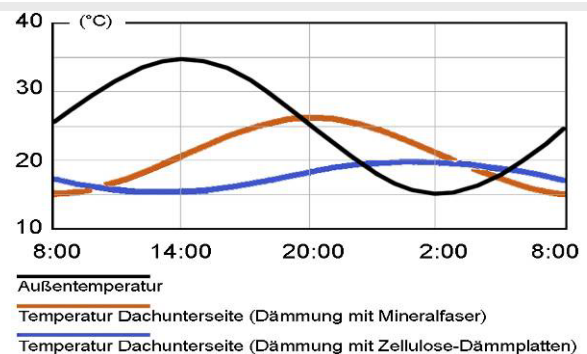


Abb. 6.18: Wirkung von Phasenverschiebung und Amplitudendämpfung an einem Dach (bearb. n. LÖFFLAD und RANFT, 2000)

Tab. 6.05: Phasenverschiebung eines Daches in Abhängigkeit vom Dämmstoff (Energieagentur NRW, 2003)

Dämmstoff	Rohdichte (ρ) [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit (λ) [W/mK]	Spez. Wärmekapazität (c) [J/kgK]	Phasenverschiebung (Φ) [h]
Mineralfaser	20	0,04	1000	7,0
Polystyrol	20	0,035	1400	7,5
Schafwolle	20	0,04	1720	7,6
Zellulose	60	0,04	1930	10,8
Holzspäne	90	0,05	2100	12,4
Holzweichfaser	170	0,045	2100	15,8

6.3.2 Einführung Versuch (V₂): Wärmedurchgang bei Massivwänden in Abhängigkeit von der Konstruktionsdicke – Amplitudenverschiebung

6.3.2.1 Versuchsverlauf

In der FAL wurden im Zeitraum vom 02. bis 12. September 2005 Untersuchungen zum Wärmedurchgang und der Auswirkung der Sonneneinstrahlung (Oberflächentemperatur der Außenwand) auf einen Betonquader durchgeführt. Für diesen Versuch wurde auf dem Freigelände ein Quader aus 252 massiven Betonwürfeln zusammengefügt (Abb. 6.19). Das Gewicht des Betonquaders betrug ca. 2015 kg (8 x 252), das entspricht einer Rohdichte von ca. 2000 kg/m³. Die Messstellen wurden an den nach Norden, Osten, Süden und Westen ausgerichteten Oberflächen, an der oberen Abschlussfläche sowie innen in einem Abstand von 25 cm zu den fünf Außenmesspunkten und im Mittelpunkt montiert (Abb. 6.20). Der „tatsächliche Temperaturverlauf“ wurde mit Hilfe von Temperaturfühlern aus NiCr-Ni-Thermodraht gemessen und im 5-Minuten-Rhythmus in einem Datenlogger aufgezeichnet. Die Temperaturmessung an der Oberfläche der Außenwand und der Außenluft hing von der direkten Sonneneinstrahlung ab, deshalb mussten die Kontaktfühler vor der Wärmestrahlung geschützt werden. Ebenso beeinflusste die Luftbewegung (Wind) die Temperaturmessung. Um den Wärmedurchgang an extrem warmen Tagen zu dokumentieren, wurden die Messungen im September durchgeführt. Zu dieser Zeit herrschten in Braunschweig tagsüber Lufttemperaturen von ca. 35 °C, die nachts auf Werte von ca. 15 °C abgesunken waren. Damit sind diese Ergebnisse auch auf die Situation in ariden und semiariden Gebieten übertragbar.



Abb. 6.19: Versuchsaufbau auf dem FAL-Gelände

Messpunkte:

K: Kerntemperatur; O-ob: Oberfläche, Osten; O-25: Osten, d = 25 cm; S-ob: Oberfläche, Süden; S-25: Süden, d = 25 cm; W-ob: Oberfläche, Westen; W-25: Westen, d = 25 cm; Os-ob: Oberfläche, obere Seite; Os-25: Oberseite, d = 25 cm

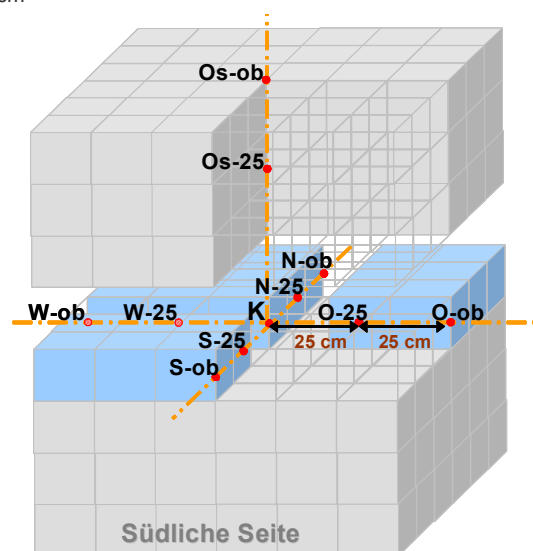


Abb. 6.20: Zeichnerische Darstellung des gemessenen Temperaturverlaufes an den Oberflächen und nach -25 cm (innen) sowie dem Kern

6.3.2.2 Ergebnisse und Auswertung

Für die Einordnung der Messwerte werden weitere bzw. verschiedene Datenquellen mit herangezogen. Die selbst erhobenen Daten sind die Temperaturen der Außenluft. Dabei wurden die obere und innere Seite der Betonwürfel durch die NiCi-Ni-Sensoren gemessen. Die Daten der Globalstrahlung wurden vom Deutschen Wetterdienst der FAL (DWD) übernommen und alle Informationen zum Bereich des Sonnenstandes für den Zeitraum des Versuchs über die Webseite „www.stadtklima-stuttgart.de“ festgestellt (Abb. 6.21).



Abb. 6.21: Programm zur Berechnung des Sonnenstands (www.stadtklima-stuttgart.de)

Zur Erläuterung und Demonstration des Einflusses der Sonneneinstrahlung auf fünf Seiten des Quaders und der „Temperaturdurchgang“ innerhalb des Betonwürfels wurden zwei exemplarisch warme Tage am 06. und 07. September 2005 herausgegriffen, die keine Ausnahmesituation im Jahresverlauf darstellen. Die Außenlufttemperatur, die Temperaturverläufe an der Oberfläche und den Außen- und Innenseiten (nach -25 cm) und dem Kern des Betonwürfels sowie die globale Sonneneinstrahlung wurden zur Veranschaulichung in Form eines Liniendiagramms graphisch dargestellt (Abb. 6.22 und 6.23, Seite 136). Die Kurven zeigen deutlich die zeitliche Verschiebung des Temperaturverlaufes beim Wärmedurchgang der untersuchten Betonwürfel.

Die Versuchsergebnisse lassen zwei Interpretationen zu:

1. Die erste Möglichkeit führt zum Verhältnis zwischen der Sonnenstrahlung, der Außenlufttemperatur und der Oberflächentemperatur der Betonwürfel. Die Ergebnisse werden für jede Seite des Würfels separat erschlossen und ausgewertet. Die Hauptergebnisse dieser Beziehung können in folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Die höchste Lufttemperatur war mit 35,9 °C um 16.15 Uhr feststellbar und die maximale globale Sonnenstrahlung betrug um 14:00 Uhr ca. 248 Joule/cm².
- Der Sonnenaufgang war um 6:40 Uhr und der Sonnenuntergang um 19:55 Uhr. Der Sonnenhöchststand war um 13:17 Uhr und der Neigungswinkel war um diese Uhrzeit etwa 44°.
- Die maximale Oberflächentemperatur erreichte auf der Ostseite 35,1 °C um 11.15 Uhr, auf der Südseite 42,0 °C um 14.30 Uhr, auf der Westseite 39,2 °C um 17.45 Uhr und auf der oberen Seite 35,1 °C um 14:30 Uhr (Tab. 6.06).
- Die maximale Innentemperatur erreichte im Mittelpunkt des Blocks - das entspräche einer Wanddicke von 50 cm - 25,9 °C um 3.15 Uhr, also mit einer Zeitverschiebung von 11 Stunden. Zu diesem Zeitpunkt lag die Außenlufttemperatur bei 15,2 °C.

Tab. 6.06: Zusammenfassung der maximalen Lufttemperaturen und Oberflächentemperaturen für jede Betonwürfelseite (nach der Tabellen A2.13 – A2.17, Anhang 2 (S. 279 – 281))

Ausrichtung	Ost	Süd	West	Nord	Oben
Max. Lufttemperatur [°C]	30,3	35,9	35,9	24,5	35,9
Zeit [h]	(13:15)	(16:15)	(16:15)	(19:15)	(16:15)
Max. Oberflächentemperatur [°C]	35,1	42,00	39,1	27,0	35,1
Zeit [h]	(11:15)	(14:30)	(17:45)	(16:15)	(14:30)
Temperaturunterschied [K]	4,8	6,1	3,2	2,5	0,8

2. Die zweite Möglichkeit besteht in der Phasenverschiebung und dem Temperaturunterschied jeder Seite des Betonwürfels. Die Ergebnisse können in folgenden Punkten der Tabelle 6.07 zusammengefasst werden:

- Auf der östlichen Seite erreicht die maximale Oberflächentemperatur ca. 35,1 °C um 11:15 Uhr, und nach -25 cm um 22:15 Uhr etwa 26,8 °C. Das bedeutet, dass die Phasenverschiebung dazwischen 11 Stunden und der Temperaturunterschied 8,3 K betrug. Wobei die Phasenverschiebung zwischen den Außenflächen und dem Kern 16 Stunden ist und der Temperaturunterschied 9,2 K betrug (Anhang 2, Tab. A2.13).
- Für die südliche Seite ist die Situation der Phasenverschiebung deutlicher geworden. Die max. Außenlufttemperatur betrug um 16:15 Uhr 35,9 °C. Die maximale Oberflächentemperatur dieser Seite erreichte um 14:30 Uhr 42 °C und die maximale Temperatur nach -25 cm um 20:45 Uhr 28,6 °C. Die Phasenverschiebung betrug an dieser Seite zwischen Oberfläche und nach -25 cm nach innen 6,15 Stunden mit einem Temperaturunterschied von 13,4 K und zwischen Außenfläche und Kern 12,45 Stunden mit einem Temperaturunterschied von 16,1 K (Anhang 2, Tab. A2.14).
- Die westliche Seite wurde am Vormittag durch die indirekte Sonnenstrahlung erwärmt. Aber die eigentliche Erwärmung begann nach 13:15 Uhr mit der direkten Strahlung. Die maximale Oberflächentemperatur betrug auf dieser Seite um 17:45 Uhr 39,2 °C, und -25 cm nach innen um 23:30 Uhr 27,2 °C. Die Phasenverschiebung entsprach auf dieser Seite zwischen der Oberfläche und -25 cm nach innen 5,45 Stunden und der Temperaturunterschied betrug 12 K. Die Phasenverschiebung betrug zwischen der Oberfläche und dem Kern 9,30 Stunden und der Temperaturunterschied 13,3 K (Anhang (2), Tab. A2.15).
- Die Oberseite des Würfels wurde während des ganzen Tages durch direkte Sonneneinstrahlung erwärmt. Die maximale Oberflächentemperatur betrug auf dieser Seite um 14:15 Uhr 35,1 °C, und um 22:00 Uhr -25 cm nach innen 26,7 °C. Die Phasenverschiebung entspricht 11 Std. zwischen der Oberfläche und -25 cm nach innen. Der Temperaturunterschied betrug 8,4 K. Die Phasenverschiebung war zwischen der Oberfläche und dem Kern 16 Stunden und der Temperaturunterschied betrug 9,2 K (Anhang (2), Tab. A2.16).
- Die Erwärmung der nördlichen Seite des Betonwürfels erfolgte durch direkte und indirekte Sonnenstrahlung. Die Seite erwärmte sich nur, wenn die Sonnen am Morgen und Nachmittag auf sie einstrahlte. Den Rest des Tages lag sie im Schatten. Hingegen wurden die inneren Bereiche und der Kern des Würfels durch den Wärmedurchfluss erwärmt (Anhang (2), Tab. A2.17).

Tab. 6.07: Zusammenfassung der entsprechenden Ergebnisse der Phasenverschiebung und Temperaturdifferenz für jede Betonwürfelseite (nach der Tabellen A2.13 – A2.17, Anhang 2)

Ausrichtung	Ost	Süd	West	Nord	Oben
	Nach -25 cm				
Phasenverschiebung (Std.)	11	6,15	5,45	7	11
Temperaturdifferenz (K)	8,3	13,4	12	2,1	8,4
	Nach -50 cm				
Phasenverschiebung (Std.)	16	12,45	9,30	11	16
Temperaturdifferenz (K)	9,2	16,1	13,3	1,1	9,2

Aus dem Versuch Wärmedurchgang bei einem Betonwürfel wurden die folgenden Ergebnisse ausgewertet und festgestellt:

- Bei einer Sonneneinstrahlung wurden eine Temperaturdifferenz zwischen der Außenluft und der Oberfläche der östlichen Seite von 5 K, der südlichen Seite von bis 6 K, der westlichen Seite von ca. 3 K und der nördlichen Seite von ca. 2 K festgestellt.
- An der Südseite wurde die Temperatur durch ein Thermometer aufgezeichnet. Hier lagen die Temperaturen bei 42 °C. Die Temperaturen auf der Nordseite wurden nicht aufgezeichnet, weil sie im Schatten liegt und es keinen Sonnenschein gibt.
- Es konnte festgestellt werden, dass auch an Tagen, wenn keine Sonne scheint, eine geringe Temperaturerhöhung an der äußeren Wandoberfläche erfolgt.
- An der südlichen Seite ergibt sich eine zeitliche Verzögerung (Amplitudenverschiebung) der Tageshöchsttemperaturen bei 25 cm Wanddicke von gut sechs Stunden. Dabei wird (in dem hier dargestellten Beispiel) die Temperatur der Oberfläche von 42 °C auf 28 °C nach - 25 cm abgesenkt. Nach weiteren sechs Stunden ist mit einem Wert von 26 °C die maximale Temperatur im Mittelpunkt des Quaders (nach -50 cm) erreicht. Die Verdoppelung der Wanddicke von 25 cm auf 50 cm bringt also nur noch einen äußerst geringen Effekt.
- Bei einer 50 cm dicken Massivbetonwand erfolgt die Erwärmung des Stallinnenraumes durch Transmission nach etwa 11 - 12 Stunden (Amplitudenverschiebung), also zu einem Zeitpunkt, an dem mit ca. 15 °C die niedrigste Außenlufttemperatur vorherrscht und dann zum Kühlen des Inneren genutzt werden kann.
- Der Wärmestrom verläuft immer in Richtung der niedrigeren Temperatur. Bei einer Massivwand hat man bei Temperaturschwankungen der Raumluft auch über einen bestimmten Zeitraum eine Wärmestrahlung von der Innenseite der Außenwand in den Raum.
- Die Erwärmung der Oberflächen und die Phasenverschiebung des Betonwürfels hängen von den bauphysikalischen Eigenschaften des Betons ab, z. B der Wärmeleitfähigkeit und dem Wärmedurchgang. Das entspricht der Reaktion des Würfels auf die Außenlufttemperatur.

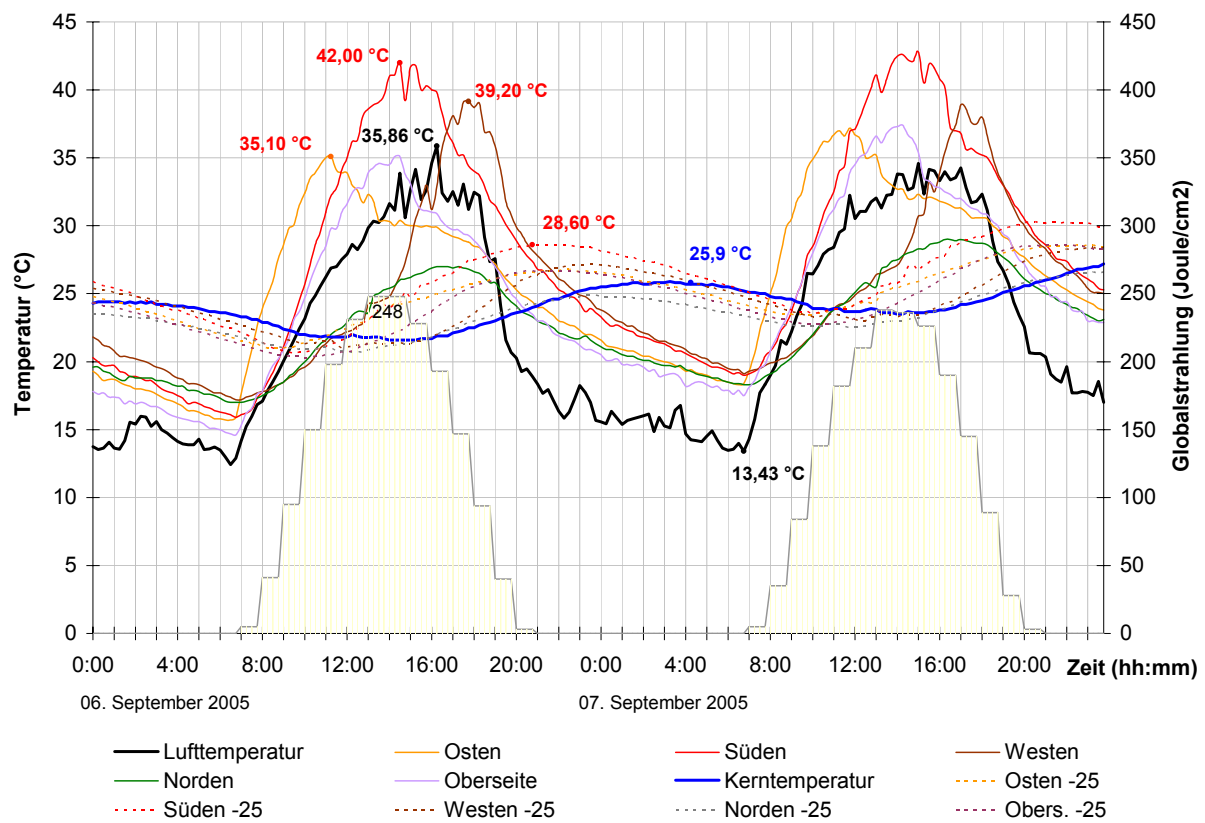


Abb. 6.22: Grafische Darstellung der zeitbezogenen Temperaturen

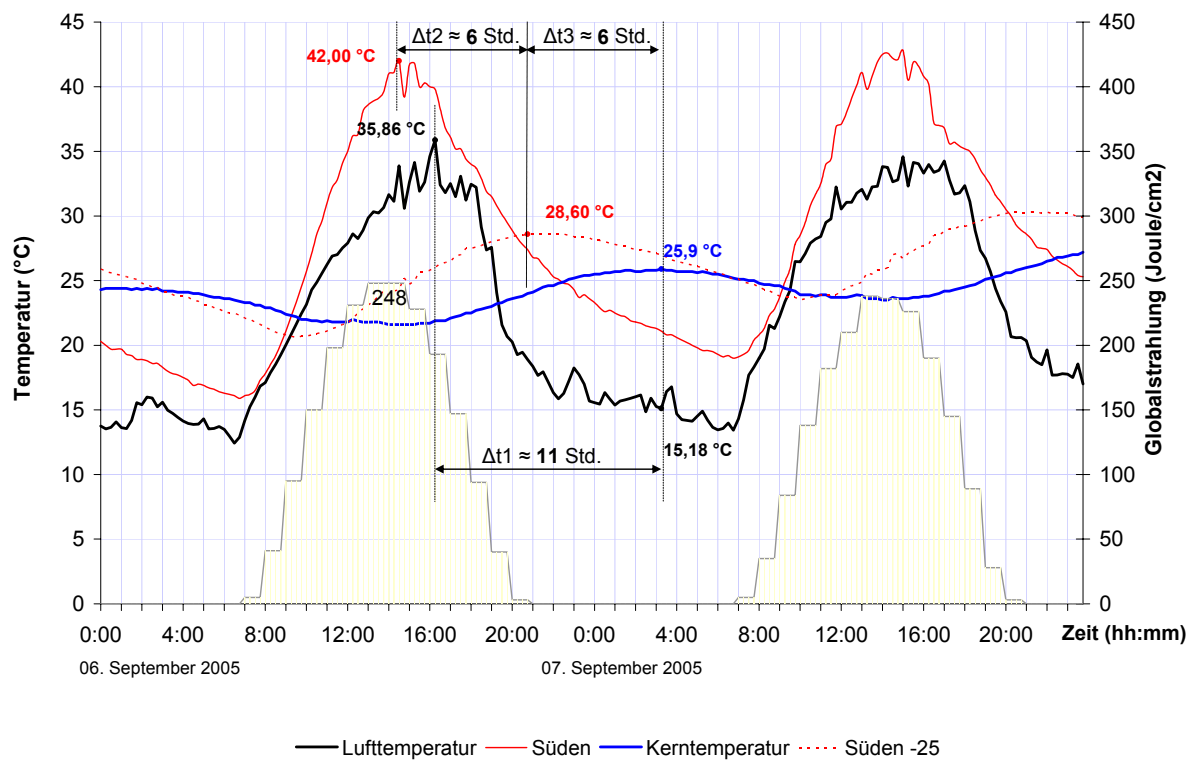


Abb. 6.23: Oberflächen- und Kerntemperaturen an der durch Sonneneinstrahlung erwärmten südlichen Seite des Betonquaders

6.3.3 Versuch (V₃): Wärmespeicherung unterschiedlicher Baustoffe

In der Versuchsreihe V₃ wurden für das landwirtschaftliche Bauwesen gebräuchliche Baustoffe in einer Klimakammer im Hinblick auf ihre Erwärmung, das Abkühlverhalten und ihr Speicher- vermögen mit der Zielsetzung, Aufschluss darüber zu erhalten, ob die Materialwahl den Ein- fluss der sehr unterschiedlichen Tagestemperaturen kompensieren kann, untersucht. In mehre- ren Durchgängen wurden u. a. die Temperaturkurven simuliert, die denen in ariden und semi- ariden Gebieten in Monaten Januar, September und Oktober (Syrien) entsprechen.

6.3.3.1 Verlauf des Versuchs

Der Versuch wurde in der Klimakammer des Instituts für Bauforschung und Betriebstechnik der FAL mit ausgewählten Proben von Baumaterialien ausgeführt. Die Proben konnten in vier Klas- sen kategorisiert werden:

- traditionelle und natürliche Baumaterialien: Massivlehm, Strohlehm, Ziegel und Holz;
- bekanntes Baumaterial: Beton;
- unbekanntes Baumaterial: Stroh;
- Nicht-Baumaterialien: Gummi und extrudiertes Polystyrol.

Im Mittelpunkt der Proben wurden Temperatursensoren installiert, um so Aufschluss über die Zeitdauer zu erhalten, in der sich die Materialien bei wechselnden Umgebungstemperaturen erwärmen resp. abkühlen. Die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit wurden durch die Klima- kammer reguliert und durch Sensoren gemessen.

Die Abbildungen 6.24 und 6.25 zeigen eine schematische Darstellung und den Aufbau des Ver- suchs in der Klimakammer. In der Tabelle 6.08 wurden die Masse und die bauphysikalischen Eigenschaften der verwandten Materialien zusammengefasst.

Die Zeitspanne des Versuchs betrug etwa 13 Tage in der Klimakammer und über einen Zeit- raum von jeweils 48 Stunden wurde die Außenluft in Syrien in den Monaten Januar, September und Oktober simuliert und dessen Auswirkung auf die o. a. Materialien gemessen. Im Januar ist die minimale echte Temperaturschwankung 8,6 K und im Oktober findet eine echte maximale Temperaturschwankung von 15,5 K statt. Beispielhaft für Syrien sind die extremen

Temperaturschwankungen im September mit Tageshöchstwerten von ca. 40 °C und den tiefsten von ca. 15 °C in der Nacht.

Unter den genannten Rahmenbedingun- gen wurden in der Klimakammer 2 - 3 Tage vor jeder Anwendung der ausgewählten Temperaturkurve für die Regulierung der geforderten Lufttemperatur und Feuchtig- keit benötigt. Abbildung 6.26 zeigt den Versuchsverlauf.

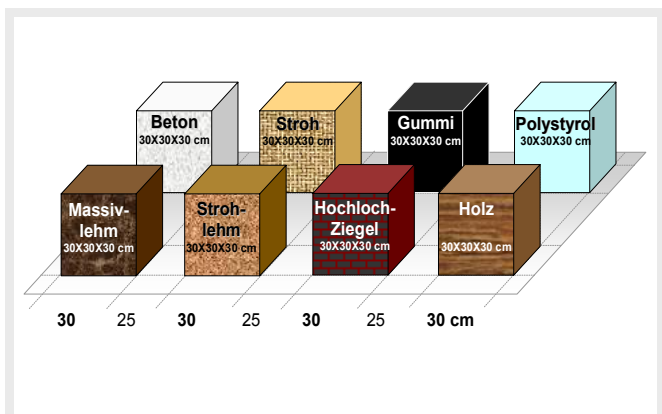


Abb. 6.24: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus in der Klimakammer



Abb. 6.25: Versuchsaufbau in der Klimakammer des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung zur Messung der Kerntemperatur und der Temperaturangleichung bei unterschiedlichen Baustoffen

Tab. 6.08: Einige bauphysikalische Eigenschaften der Versuchsproben

Material	Abk.	Gewicht	Volumen	Rohdichte	Wärmeleitfähig.	spez. Wärmekapazität
		(G) [kg]	(V) [m ³]	(ρ) [kg/m ³]	(λ) [W/mK]	(c) [J/kgK]
Massivlehm	L _M	52,00	0,027	1900	0,91*	1000* (1800)
Strohlehm	L _S	29,25	0,027	1100	0,5***	1000*** (1200)
Hochlochziegel	Z	25,35	0,027	900	0,33*	1000* (800)
Holz	H	15,85	0,027	600	0,13*	2100*
Beton	B	64,60	0,027	2400	2,1*	1000*
Stroh	S	2,65	0,027	100	0,058***	1260*** (150)
Gummi	G	32,60	0,027	1200	0,16**	1400**
Extr. Polystyrol	Pol.	1,05	0,027	40	0,04***	1500*** (30)
Gemessen und berechnet					*VOLHARD, 1995, **KELLER, 1997, ***www.ib-rauch.de	

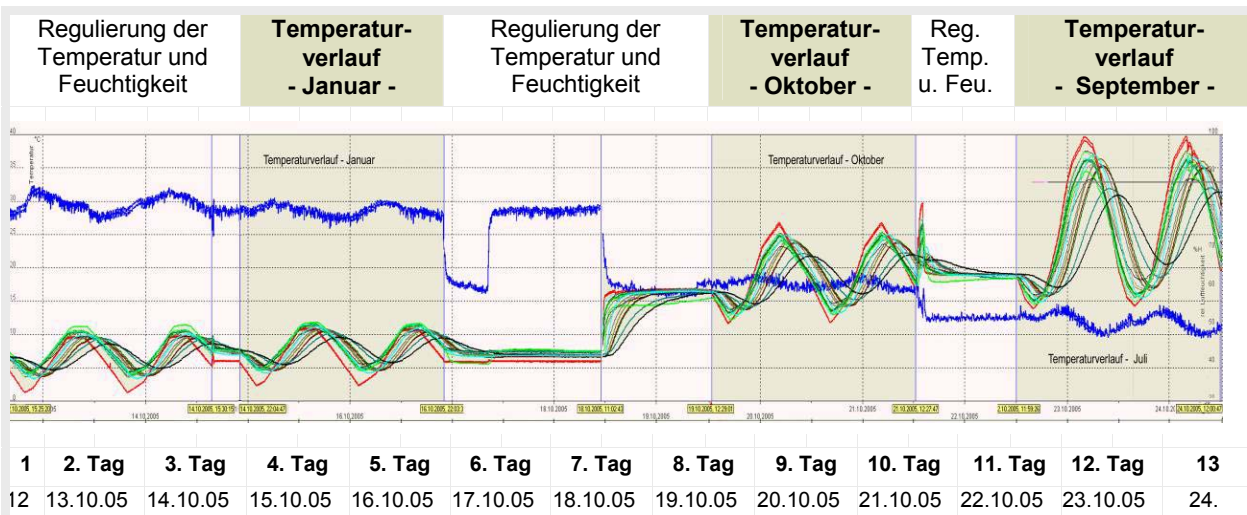


Abb. 6.26: Versuchsverlauf in der Klimakammer

6.3.3.2 Ergebnisse und Auswertung

Die gewonnenen Ergebnisse des Versuches zeigen stündliche Werte der Lufttemperaturen und die Feuchtigkeit der Monate Januar, September und Oktober, sowie die Kerntemperaturen der ausgewählten Materialien. Diese Ergebnisse sind in Form der Liniendiagramme graphisch in den Abbildungen 6.27, 6.28 und 6.29 dargestellt. Die Messwerte sind für die simulierten Tage der Monate Januar, September und Oktober mit der Tageshöchsttemperatur von ca. 40, 27 und 11 °C und einer Nachttemperatur von ca. 15, 12 und 3 °C in der Tabelle 6.09 und im Anhang 2, Tabelle A2.18 (S. 283) zusammengefasst. Nach Auswertung der gesamten Versuchsdaten können die Ergebnisse zu folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Die Zeitverschiebung beträgt in Abhängigkeit vom Material bis zu 8 Stunden. Bei der Tageshöchsttemperatur (September) erreicht die zeitliche Verschiebung bei Gummi ca. 7,30 Std., danach kommt Holz mit 5,40 Std. Die kürzeste Verschiebung findet bei Polystyrol und Stroh mit 2,10 und 0,15 Stunden statt.
- Die Temperatur von Hartgummi z. B. beschreibt eine sehr flache Sinuskurve mit Höchsttemperaturen von ca. 31 °C und Tiefsttemperaturen im Bereich von 20,5 °C. Es erfährt die geringste Erwärmung und kühlt nicht so stark aus wie die anderen geprüften Stoffe. Auch Holz verfügt über ein bemerkenswert gutes Speichervermögen. Die größten Schwankungen mit den extremsten Temperaturwerten wurden erwartungsgemäß bei Polystyrol gemessen, gefolgt von Stroh.
- Es wurde durch den Versuch – wie in der Literatur – festgestellt, dass das Wärmespeichervermögen eines Bauteils von der spezifischen Wärmekapazität, von der Rohdichte des Bauteils und seiner Schichtdicke abhängig sind.
- Hoher Wärmedurchlasswiderstand ohne Wärmespeicherfähigkeit (Nr. 1, Polystyrol) oder hohe Wärmespeicherfähigkeit mit geringer Wärmedämmung (Nr. 2, Beton) bewirken gleich geringe Amplitudendämpfung und Phasenverschiebung.
- Einschichtige Bauteile mit gleichermaßen guten Dämm- und Speichereigenschaften erreichen die volle Phasenverschiebung bei gleichzeitig guter Amplitudendämpfung (Nr. 3, Holz und Nr. 4, Hochlochziegel).
- Für die Versuchsproben wurden Temperatur-Amplituden-Verhältnis (TAV), Auskühlkennzeit (z), Temperaturleitzahl (a) und Wärmeeindringzahl (b) theoretisch berechnet (Tab. 6.10 und 6.11). Der TAV-Wert ist ein Verhältnis zwischen der Temperaturdifferenz der Probenkerne und der Außenluft. Nach der Berechnung wurde festgestellt, dass der kleinste Wert des TAV bei Gummi bei ca. 0,4 und der größte Wert bei Polystyrol mit 0,85 liegt. Für die Auskühlzeit (z) zeigen die Ergebnisse, dass die maximalen Werte von Gummi und Holz bei ca. 36 und 32 Stunden liegen und die minimalen Werte von Stroh und Polystyrol bei ca. 7 und 5 Stunden.

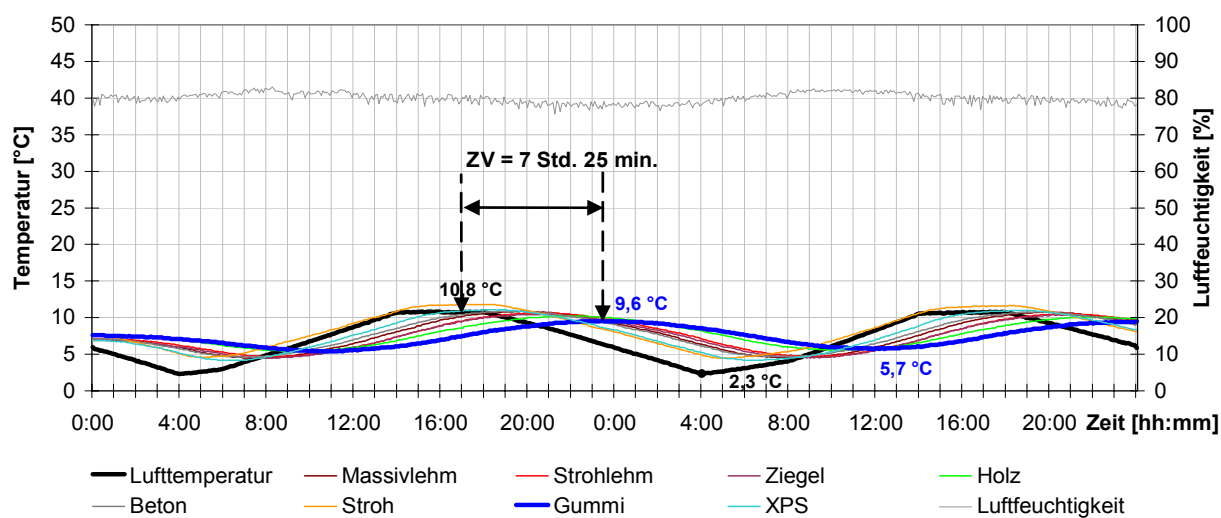


Abb. 6.27: Grafische Darstellung für „Januar“ zur Messung von Oberflächen und Kerntemperatur

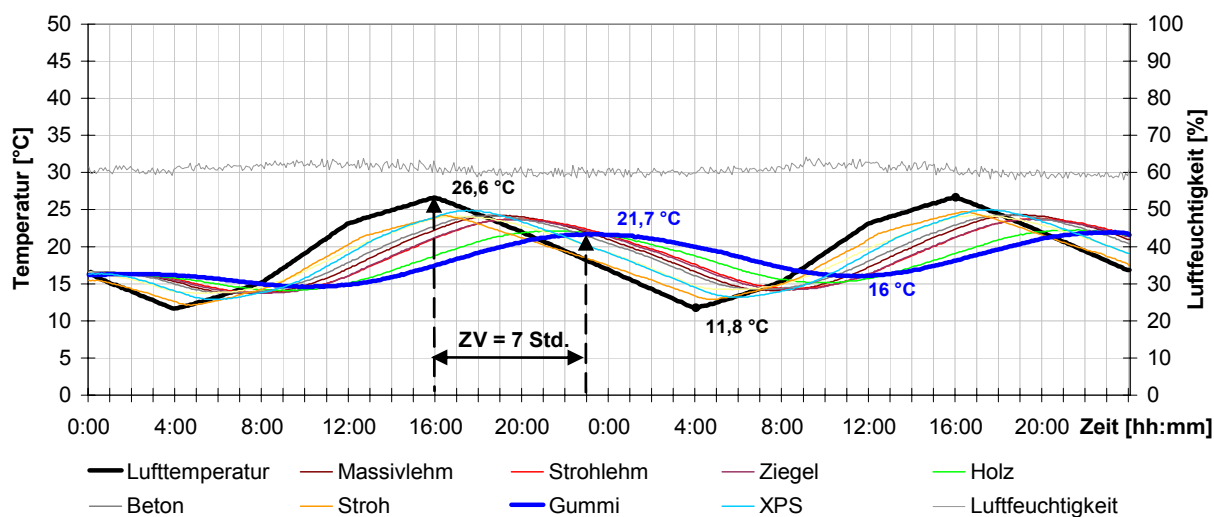


Abb. 6.28: Grafische Darstellung für „Oktober“ zur Messung von Oberflächen und Kerntemperatur

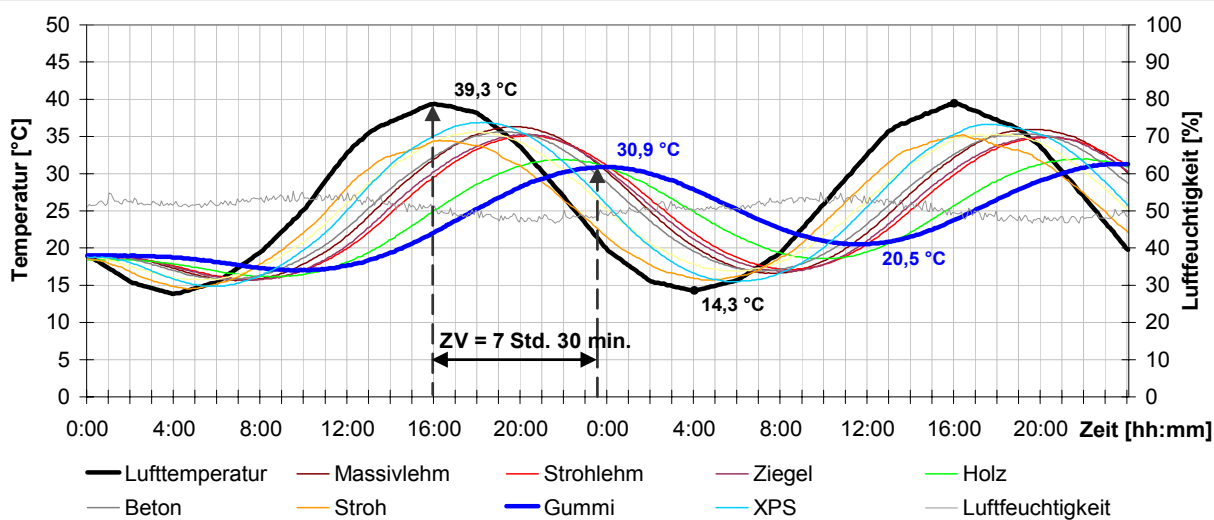


Abb. 6.29: Grafische Darstellung für „September“ zur Messung von Oberflächen und Kerntemperatur bei unterschiedlichen Baustoffen

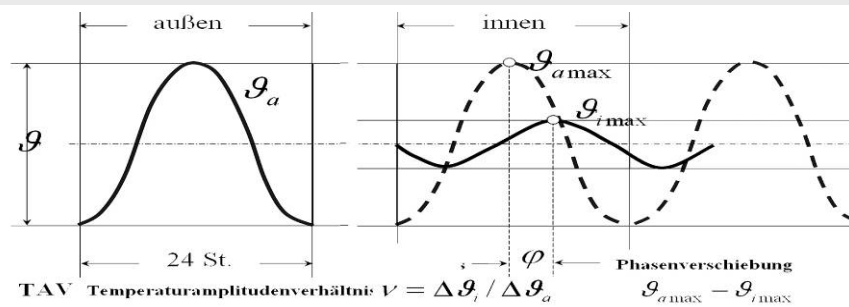


Abb. 6.30: Darstellung von Phasenverschiebung und Temperatur-Amplituden-Verhältnis (TAV)

Tab. 6.09: Phasenverschiebung (berechnet nach der Tabelle A2.18, Anhang 2 (S. 283))

	September		Oktober		Januar	
Massivlehm	3 Std. 20 min.	(5)	2 Std. 25 min.	(5)	3 Std. 25 min.	(5)
Strohlehm	4 Std. 00 min.	(3)	3 Std. 10 min.	(3)	4 Std. 40 min.	(3)
Ziegel	4 Std. 00 min.	(4)	3 Std. 00 min.	(4)	4 Std. 40 min.	(4)
Holz	5 Std. 40 min.	(2)	4 Std. 35 min.	(2)	5 Std. 05 min.	(2)
Beton	2 Std. 50 min.	(6)	2 Std. 20 min.	(6)	2 Std. 40 min.	(6)
Stroh	0 Std. 15 min.	(8)	0 Std. 50 min.	(8)	1 Std. 00 min.	(8)
Gummi	7 Std. 30 min.	(1)	7 Std. 00 min.	(1)	7 Std. 25 min.	(1)
Polystyrol	2 Std. 10 min.	(7)	1 Std. 25 min.	(7)	2 Std. 00 min.	(7)

Tab. 6.10: Berechnung des TAV- Werts (berechnet nach $V = \Delta \vartheta_{oi} / \Delta \vartheta_{oa}$, Tabelle A2.18)

	September			Oktober			Januar		
	$\Delta \vartheta_{probe}$	$\Delta \vartheta_{luft}$	V	$\Delta \vartheta_{probe}$	$\Delta \vartheta_{luft}$	V	$\Delta \vartheta_{probe}$	$\Delta \vartheta_{luft}$	V
	[K]	[K]		[K]	[K]		[K]	[K]	
Massivlehm	19,7	25,0	0,79 (7)	10,1	14,8	0,68 (6)	6,4	8,5	0,75 (6)
Strohlehm	18,0		0,72 (3)	9,3		0,63 (3)	6,0		0,70 (3)
Ziegel	18,4		0,74 (4)	9,4		0,64 (4)	6,0		0,70 (4)
Holz	13,3		0,53 (2)	6,9		0,47 (2)	4,7		0,55 (2)
Beton	18,7		0,75 (5)	9,9		0,67 (5)	6,2		0,73 (5)
Stroh	18,8		0,75 (6)	11,3		0,76 (7)	7,3		0,86 (8)
Gummi	10,7		0,43 (1)	5,7		0,38 (1)	3,9		0,46 (1)
Polystyrol	21,4		0,84 (8)	11,7		0,79 (8)	6,9		0,81 (7)

Tab. 6.11: Berechnung der Auskühlkennzeit, Temperaturleitzahl und Wärmeeindringzahl (nach Tab. A2.19 (Anhang 2) und Formeln: F A3.12; F A3.15 (Anhang 3))

	Auskühlkennzeit		Temperaturleitzahl		Wärmeeindringzahl	
	nach $z = W / U$ (F A3.12) nach Tab. A2.19, Anhang 2		nach $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$ (F A3.15)		nach: *) VOLHARD, 1995 **) www.ib-rauch.de [kJ/m² h ^{0,5} K]	
	[h]		[m²/s]			
Massivlehm	9,7	(4)	4,8 x 10 ⁻⁷	(5)	77*	(2)
Strohlehm	8,7	(5)	4,5 x 10 ⁻⁷	(4)	55**	(3)
Ziegel	10	(3)	3,7 x 10 ⁻⁷	(3)	31*	(4)
Holz	32,4	(2)	1,0 x 10 ⁻⁷	(2)	24*	(6)
Beton	7,3	(6)	8,8 x 10 ⁻⁷	(7)	135*	(1)
Stroh	7	(7)	4,6 x 10 ⁻⁶	(8)	7**	(7)
Gummi	35,6	(1)	9,5 x 10 ⁻⁸	(1)	30**	(5)
Polystyrol	4,8	(8)	6,7 x 10 ⁻⁷	(6)	4**	(8)

6.4 Zusammenfassung der Versuchsausführung

Sinn und Zweck der Versuche war es, Folgendes zu untersuchen:

1. Den Einfluss des Strahlungs-/Auftrittswinkels der Sonne auf die Oberflächentemperatur eines Gebäudes,
2. den Wärmetransport, d. h. die Zeitdauer für die Temperaturanpassung eines Baustoffes an die Umgebungstemperatur und
3. die Wärme- oder auch Kältespeicherung einiger Materialien.

Aus den Versuchsergebnissen können die folgenden Punkte zusammengefasst werden:

- **Aus den Versuchen (V_{1A} und V_{1B}):** Der Neigungswinkel von Gebäudehüllflächen zum Strahlungswinkel der Sonne kann – zumindest bei hellen Gebäudeoberflächen – vernachlässigt werden. Die Temperaturen bei Sonnenstrahlung liegen auf der unbehandelten grauen Betonplatte an deren Oberseite um mehr als 15 K über der Außenluft. Deshalb sollten die Oberflächen mit weißer Farbe beschichtet sein (oder aus weißen Materialien bestehen). Die Temperaturdifferenzen bei unterschiedlicher Neigung sind marginal.
Für die Planung eines Gebäudes (Ställe) muss die Dachneigung 15° betragen und darf 20° nicht überschreiten (dies gilt auch für die Stalllüftung).
- **Aus Versuch (V_2):** Nach den Versuchsergebnissen und den Auswertungen des Experimentes wurde das Temperaturverhalten in dem Versuchskörper bewertet. Aus der Stärke einer massiven Außenwand ergibt sich ein bemerkenswerter Einfluss auf die Temperaturregulierung des Stallklimas. Ein interessanter Aspekt ist auch bei dieser Versuchsanstellung die zeitliche Verzögerung des Temperaturdurchgangs. Die max. Stallinnentemperatur wird zu einer Zeit erreicht, wenn die Außentemperatur am geringsten ist. Durch die Verwendung schwerer Baustoffe kann bei 25 cm Dicke eine Amplitudenverschiebung von mehr als 6 Std. erreicht werden. Bei dieser gegebenen Situation kann die Transmissionsdauer (Amplitudenverschiebung) von etwa 11 bis 12 Stunden mit 50 cm Wanddicke zum Kühlen des Stalles genutzt werden.
- **Aus Versuch (V_3):** Die Temperaturspeicherung spielt bei der Regulierung von Innentemperaturen der Gebäude in heißen Klimaregionen eine große Rolle. Nach der Ergebnisauswertung des ausgeführten Versuchs (4) sowie nach den Angaben von verschiedenen Literaturquellen im Bereich bauphysikalischer Eigenschaften der Baustoffe wird festgestellt, dass Gummi, Holz, Strohlehm und Ziegel die besten Materialien für Temperaturspeicherung sind. Aufgrund der Tatsache, dass Gummi ein unbekanntes Baumaterial ist und Holz in heißen Klimaregionen nicht immer verfügbar oder teuer ist, kann Strohlehm als beste Lösung für den Stallbau empfohlen werden.
Die zeitliche Verschiebung des Temperatureintrages (Transmission) ist bei entsprechender Materialwahl gegeben. Deutliche materialspezifische Zeitverzögerungen entstehen beim Erreichen der höchsten Kerntemperatur (Polystyrol – Hartgummi $\Delta = 7$ h).

- Welche Rückschlüsse und Folgerungen können nun aus diesen Erkenntnissen für die Planung eines massiv errichteten Stalls (Gebäudes) gezogen werden?
- 1. Bei der Planung eines Stalles (Gebäudes) sollte vorrangig auch dem sommerlichen Wärmeschutz Beachtung geschenkt werden. Klimagerechte Planung mit der richtigen Materialwahl senkt die sommerlichen Wärmelasten und reduziert den Klimatisierungsaufwand auf ein Minimum.
- 2. Durch Sonnenschutz und Speichermasse kann sommerliche Überhitzung von Innenräumen verringert werden; über einen längeren Zeitraum hinweg würden sich diese aber trotzdem aufheizen. Der Überhitzung wirken Maßnahmen zur Kühlung entgegen.
- 3. Ziel des sommerlichen Wärmeschutzes ist es also, den Wärmedurchgang abzumildern und so weit zu verzögern, dass die höchste Temperatur des Tages dann auf der Rauminnenseite wirksam wird, wenn es draußen schon wieder kühl ist. Hierzu ist eine Phasenverschiebung von 10 - 12 Std. günstig. Bei geringerer Phasenverschiebung würde die hohe Temperatur auf der Bauteil-Innenseite schon zu einem Zeitpunkt wirksam, zu dem die Außentemperatur noch vergleichsweise hoch ist, der Effekt der Nachtlüftung also noch nicht genutzt werden kann.
- 4. Die Verwendung von massiven Baustoffen bei der Außenwandkonstruktion führt zu einer deutlichen Verzögerung des Wärmedurchgangs einer durch Sonnenstrahlung auf Temperaturen von mehr als 50 °C „aufgeheizten“ Außenwandoberfläche. Ein Faktor, der insbesondere für die Milchviehhaltung in ariden und semiariden Gebieten, mit großen Temperaturunterschieden (bis zu 25 °C) zwischen Tag und Nacht, von Bedeutung ist. So können bei relativ geringen Herstellungskosten die Unterhaltskosten für Lüftung und Kühlung auf ein Minimum reduziert werden.
- 5. Durch geschickte und überlegte Materialauswahl und entsprechendem Konstruktionsaufbau kann die Aufwärmung (oder Kühlung) des Innenraums deutlich beeinflusst, zumindest verzögert werden. Die Farbgestaltung spielt in diesem Kontext auch eine wichtige Rolle.
- 6. Es sollte zudem überlegt werden, ob eventuell durch ein „angepasstes Lüftungsverhalten“ die Stallinnentemperatur und die „Speicherwirkung“ schwerer Baustoffe sinnvoll genutzt werden können, da die höchste Innentemperatur zu einer Zeit erreicht wird, wenn die Außentemperatur bereits wieder abgesunken ist.
- 7. Die Nachtlüftung bei niedrigen Außentemperaturen ermöglicht eine natürliche Klimatisierung. Um diese Möglichkeit der Kühlung nutzen zu können, ist es wichtig, dass die hohen Oberflächentemperaturen auf der Innenseite der Bauteile erst in dieser Phase der Nachtlüftung wirksam werden.
- 8. Bei aufmerksamer Betrachtung und Bewertung der vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen sich Möglichkeiten, das Stallklima von Milchviehställen in ariden und semiariden Gebieten positiv im Sinne einer tierangepassten Umgebungstemperatur und einer gesteigerten Milchleistung der Kühe zu beeinflussen. Gezielte Materialauswahl, überlegte Dimensionierung der Dicke von massiven Stallaußenwänden unter Berücksichtigung der Himmelsrichtung können dazu beitragen, dass auch in diesen Regionen Hochleistungskühe ohne permanenten hohen technischen Aufwand gehalten werden können.

9. Diese grundlegenden Erkenntnisse können auch für die Ausführung von Stallgebäuden in Deutschland und Europa genutzt werden.

■ **Überlegungen zu zukünftigen Untersuchungen und weitere Ziele**

Die Auswertung der Versuchsergebnisse zeigt eine Reihe neuer Erkenntnisse und die Bestätigung von Literaturangaben in den Bereichen Wärmedurchgang und Temperaturspeicherung. Demnach geben die Ergebnisse auch Hinweise für zukünftige Überlegungen, wie die Gebäudehülle einschließlich der Baumaterialien noch besser zu einem angenehmen Stallklima und optimalen Umständen für Mensch und Tier beitragen können.

Weitere Versuche können Aufschluss darüber geben, ob Baukörper aus massiven Baustoffen, z. B. Beton, mit verschiedenen Außenwandmaterialien einen größeren Effekt erzielen können:

- Unterschiedliche Baumaterialien der Außenwände für jede Himmelsrichtung mit derselben Wanddicke oder
- Variation der Wanddicke mit nur einem Baustoff.

Das Ziel zukünftiger Versuche könnte folgende Fragen klären:

- ***Welchen Einfluss hat die Außenlufttemperatur auf die Innentemperatur eines Raums, wenn die Außenwände unterschiedliche Dicken und Baustoffe haben?***
- ***Wie wird die innere Temperatur des Raums im Verlauf des Tages sein?***

Es sollte Folgendes untersucht werden:

- Auswirkung der Sonneneinstrahlung auf die Oberfläche des Raumes;
- Temperaturverhalten, Durchgang, Zeitverschiebung und Temperaturdifferenz jeder Außenwand für jede Hüllfläche und das Dach, Messungen der Oberflächen-, Innenflächen- und Raumtemperatur sowie ihre Zeit für die Durchgänge.

Als weitere Überlegungen für mögliche Versuche werden folgende Punkte empfohlen:

- Weiterentwicklung der Baumaterialien wie Gummi als Hauptmaterial oder teilweise kombiniert mit anderen Baumaterialien in den Außenwänden von Gebäuden in heißen Klimaregionen.
- Die neuen gemischten Baumaterialien können z.B. sein: Gummi mit Holz, Ziegel oder Porenbeton (s. Eigenschaften von Porenbeton).
- Diese Versuche könnten in folgenden Bereichen angewendet werden:
 - a) Bauphysikalische Untersuchung: Wie reagiert das neue Material auf Wärme? Wie hoch sind die Temperaturspeicherung, Dämmung und Auskühlungs- und Wärmedauer, Sonnenschutz?
 - b) Konstruktion: Wie wird das neue Material in Bausystemen verbaut und wie ist die Tragfähigkeit?
 - c) Architektur und Entwürfe der Hauptbaueinheit.
 - d) Auswirkung auf die Gesundheit von Mensch und Tier und auf die Umwelt.
 - e) Kosten und wirtschaftliche Fragen, Aufwand und verfügbare Grundmaterialien.

KAPITEL

7

Planerische Lösungsvorschläge für moderne Milchviehställe

7.1 Einleitung

Das Arbeitsziel, wie in Kapitel 1 genannt, ist: Die Suche und Schaffung moderner Lösungsalternativen für Milchviehställe in ariden und semiariden Gebieten unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen. Um das Ziel folgerichtig zu erreichen, sollten:

- die zusammenfassenden Analysen der theoretischen Anforderungen aus Rinderhaltung und der aus den klimatischen Gegebenheiten Syriens, aus den Grundlagen der modernen Milchviehhaltung und der baulichen Grundsätze sowie aus den Methoden für Gebäude und Stalkühlung,
- die zusammenfassenden Ergebnisse der praktischen Versuche und
- die Entwurfsgrundlagen für Stallbauten

als Grundsteine für die Stallplanung eingesetzt werden.

Die Entwurfsgrundlagen umfassen die Gestaltung, Gliederung und die Funktionsräume der landwirtschaftlichen Gebäude sowie die Arbeitsachsen. Sie werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

7.2 Entwurfsgrundlagen für Stallgebäude

Das landwirtschaftliche Gebäude hat zum Zweck, einerseits Menschen, Tiere und Materialien gegen ungünstige klimatologische Bedingungen zu schützen und andererseits die Belastungen von Luft und Wasser, welche von der Nutztierhaltung ausgehen, für die Umwelt gering zu halten und das Landschaftsbild möglichst nicht zu stören.

Planung und Errichtung artgemäßer Tierhaltungssysteme müssen sich an den biologischen Voraussetzungen der jeweiligen Tierart orientieren. Die erreichbare Artgemäßheit von Haltungssystemen beeinflusst Kenntnis- und Entwicklungsstand im Stallbau, in der Stalleinrichtungs- und Verfahrenstechnik sowie die gesetzlichen Vorgaben. Die Ansprüche an eine artgemäße Haltungsumwelt für Kühe können in verhaltensgerechten Laufstallsystemen erfüllt werden. Im Liegeboxenlaufstall kann für jedes Verhalten (z.B. Futteraufnahme, Ruhen, Fortbewegung, etc.) ein eigens dafür optimierter Funktionsbereich gestaltet werden. Für den Tierhalter bringt der Liegeboxenlaufstall neben Arbeitsvereinfachungen und damit einer Verringerung des Arbeitsaufwandes auch deutliche Arbeitserleichterungen (Fütterung, Entmistung, Melkarbeit) (FÜRSCHUSS et al., 2004).

7.2.1 Gestaltung der landwirtschaftlichen Gebäude

Die neuen Stallgebäude sollten in den Proportionen, also in seinen Maßverhältnissen von Länge, Breite und Höhe, im Größenverhältnis des Dachkörpers zum vom Dach bedeckten Gebäudeteil, in der Dachneigung und im Dachdeckungsmaterial, in der Himmelsrichtung, in der Wahl der Baumaterialien und der Farbgebung an die den Neubau unmittelbar umgebenden Gebäude des Hof-, Nachbarschafts- oder Siedlungsverbandes angepasst werden.

Landwirtschaftliche Bauten gestalten und beeinflussen die Umwelt. Deshalb sollten die Stallanlagen am Rand der Stadt oder Ortschaft liegen und als Übergang von der Wohnbebauung zur Landschaft geplant werden. Zur Anwendung der Abstandsregelung zwischen Rinderhaltung und Wohnbebauung soll die Kurve nach Abbildung 7.01 in Abhängigkeit von der Bestandsgröße herangezogen werden.

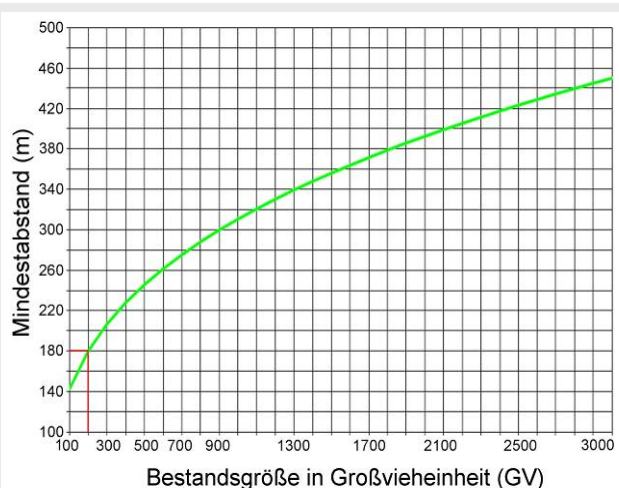


Abb. 7.01: Mindestabstandskurve für Rinderanlagen mit Bestandsgrößen zwischen 100 und 3000 GV (VDI 3474, 2001 (In: SMUL, 2008))

Bei der Auswahl des Standorts eines landwirtschaftlichen Betriebes sind eine Reihe von Voraussetzungen zu bedenken (Ldw. Kammer Rheinland-Pfalz, 2006).

- Künftige Entwicklung des Betriebes in geplanten Bauabschnitten.
- Berücksichtigung von laufenden Planungsprozessen wie Festsetzungen in der Bauleitplanung sowie regionale Planungsziele.
- Abklärung von Entfernungen zu Verkehrsstrassen, Wasser, Abwasser und Energieversorgung.
- Richtige Platzierung der Wohnung für die Betriebsleiterfamilie zum Betriebsgebäude.
- Abstandsregelungen zu anderen Nutzern und zu Schutzgebieten unter Beachtung der Empfindlichkeit der Umgebung.
- Einbeziehung von topografischen und klimatischen Einflüssen wie Bodenbeschaffenheit, Hangneigung, Hauptwindrichtungen, Frost-, Nebel- und Windeinflüsse.

7.2.2 Optische Gliederung der landwirtschaftlichen Gebäude

Die Stallanlagen haben im Allgemeinen zwei Eigenschaften:

- A. Die Häufigkeit:** Landwirtschaftliche Produktionsbauten sind häufig. Es wiederholen sich im Wesentlichen gleichartige oder ähnliche Bauaufgaben an verschiedenen Standorten. Außerdem bestehen diese Anlagen oftmals aus der Reihung gleicher Gebäude und Bauwerk. Sie unterscheiden sich dann nur durch eine unterschiedliche Zusammenstellung und Kapazität der „Typen“ und diese wiederum durch eine unterschiedliche Anzahl und Zuordnung gleichartiger Funktionsbereiche.
- B. Die Größe:** Stallanlagen sind in der Regel verhältnismäßig große Gebäude, meistens beträchtlich größer als die übrigen Bauten am Hof. Es wäre deshalb eine gefällige Gliederung großer und langer Wandflächen angebracht, das heißt eine optische Auflockerung oder Unterteilung solcher Flächen durch kleinere Flächeneinheiten. Konstruktive und funktionelle

Elemente wie Stützen, Balkenlagen, Mauerpfeiler, Windverbände und Wandöffnungen bieten sich hierzu von selbst an (MEHLER und HEINIG, 1968).

Eine Anhäufung vieler sehr verschiedener Flächenelemente kann leicht als ungutes Durcheinander empfunden werden. Deshalb sollte man die Anzahl von Größe, Proportionen und Material verschiedener Elemente gering halten und die Verteilung der Elemente auf der Fläche wieder einem einfachen und konstruktiv oder funktionell „logischen“ Prinzip unterwerfen, z. B. gleich hohe Oberkanten aller Öffnungen. Die Materialien der Gliederungselemente sollten stimmig zu den Hauptbaustoffen des Gebäudes passen. Das konstruktive Skelett beim Stützenbau bildet ein bautechnisch bedingtes Raster, welches man von außen sichtbar werden lassen kann. Gleichmäßig aufgeteilte oder in Gruppen zusammengefasste, im Verhältnis zur gesamten Wandfläche eher kleine und möglichst gleich große Fenster oder durchgehende Fensterbänder können als ansprechende Gliederungselemente eingesetzt werden.

Auf Grund der Häufigkeit und des großen Bedarfs an modernen Gebäuden und Anlagen spielen, die Vereinheitlichung, Normung und Typung eine bedeutende Rolle. Sie bilden die Grundlage für eine Rationalisierung in der Bauproduktion durch Vorfertigung und Montage der Bauwerke. Durch sinnvoll vereinheitlichte Maße ist es möglich, die Bauwerke aus einer relativ geringen Anzahl vorgefertigter Bauelemente zu montieren. Ein großer Anteil der funktionell verschiedenen Bauaufgaben und Anforderungen kann mit Mehrzwecksegmenten (Raumzellen) gelöst werden (MEHLER und HEINIG, 1968).

7.2.3 Funktions- und Raumprogramm

Die Planung für Milchvieh-, Mastrinder- und Kälberhaltungen ergibt sich nach Klärung grundsätzlicher Daten wie Haltungsform (geschlossener oder offener Stall), Bestimmung der Tierplätze, Futter-, Einstreu- und Dunglager. Grundlage für die Planung ausreichender Stallplätze und Bergeräume ist die genaue Kenntnis über die Zusammensetzung des Tierbestandes einer Produktionsrichtung. Das Raumprogramm für den Tierbereich umfasst die Auflistung sämtlicher für die Unterbringung der Tiere notwendigen Raumelemente und die Festlegung ihrer Größe. Für die Erstellung des Raumprogramms ist von der zu haltenden Anzahl der Tiere in der Hauptnutzungsrichtung auszugehen. Die Art und Anzahl zusätzlicher Raumelemente hängt vom Betriebskonzept, von der Nutzungsrichtung bei der Kuhhaltung, auch von der Nutzungsdauer (Umtrieb) und von der Verteilung der Abkalbungen über das Jahr ab.

Für Milchviehställe mit verschiedener Nutzung der Jungtiere sind folgende Elemente zu ermitteln bzw. zu berücksichtigen: **1)** Anzahl der Kuhplätze; **2)** Anzahl der Abkalbeplätze: Die Anzahl der Abkalbeplätze hängt von der Abkalbeverteilung übers Jahr ab und auch davon, wie lange die Kälber nach der Geburt bei ihren Müttern bleiben; **3)** Anzahl der Kälberboxen; **4)** Anzahl der Kälberplätze in Gruppenbuchten: Frühestens nach einer Woche und spätestens nach 4 Wochen sollen Kälber aus den Einzelboxen in Gruppenbuchten umgestallt werden (Bewegungsmöglichkeit, Spielverhalten, Sozialkontakt); **5)** Anzahl der Plätze für Jungvieh und Mast; **6)** Plätze für Zuchtstiere bei Bedarf; **7)** Kranken- und Quarantänebuchten (BARTUSSEK et al., 2008).

Zu den Stallungen in Milchviehanlagen gehören außer dem Stallgebäude das Melkhaus, Silos und Bergeräume für Futter und Einstreu sowie je nach Größe und Lage des Betriebes zentrale Sozial- und Sanitärräume, Verwaltungsräume und Werkstätten, Geräte- und Garagenräume

und Versorgungszentralen. Dazu kommen Außenanlagen mit Dungstätte, Jauchebehälter, Wegebefestigung, Be- und Entwässerung, Elektrozuführung und die Einfriedigung. Die Zuordnung der Nebenräume und Bauwerke zum Stall ist im Wesentlichen von der Größe der Anlage, der Stallbauform, den Arbeitsverfahren, von hygienischen Faktoren sowie von den Brandschutzbestimmungen abhängig.

Die erforderlichen Bergeräume für Futter, Einstreu und Mist lassen sich in einem einfachen Rechengang ermitteln, wenn die Tierplatzzahl, die Gestaltung der Futterration, der Einstreuaufwand und der Mistanfall bekannt sind (Handbuch, 2001).

7.2.4 Arbeitsachsen

Im Funktionsprogramm werden die oben angeführten Raumelemente so zueinander geordnet, dass eine möglichst effiziente Arbeitsverrichtung erreicht und den Bedürfnissen der Tiere Rechnung getragen wird. Dabei sind besonders zu beachten: „Tiergesundheit und Arbeitsachsen“.

Die Arbeit im Milchviehstall umfasst das Füttern, das Ausmisten, Einstreuen und Melken. Füttern und Ausmisten sind schwere Arbeiten, weil erhebliche Massen dabei bewegt werden müssen. Die Anordnung der Arbeitswege entscheidet über den arbeitswirtschaftlichen Wert der Planung eines Rindviehstalles. Es sind drei Arbeitswege zu beachten: Der Futterweg, die Mistung und der Milchweg. Das Ziel der Planung funktionstüchtiger Arbeitsachsen im Stall ist Arbeitserleichterung, Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit und Vermeidung von Arbeitsunfällen bei Sicherstellung des Wohlbefindens und der Gesundheit von Mensch und Vieh. Dazu sollten folgende die Arbeitsachsen betreffende allgemeine Empfehlungen beachtet werden: 1) übersichtlich, 2) geradlinig, möglichst kurz bzw. keinesfalls unnötig lang, 3) ohne Stufen; bei nicht vermeidbarer Überwindung von Niveauunterschieden mit Rampen von geringer Neigung (max. 20 %), 4) rutschticher auch bei Nässe und 5) saubere Arbeitsachsen (Transportachsen) und eher schmutzige Arbeitsachsen (Mistachsen) sollten sich möglichst nicht kreuzen (BARTUSSEK et al., 2008).

7.3 Ausgangssituation der Lösungsvorschläge

7.3.1 Standort

Syrien liegt in unterschiedlichen Klimazonen. Das Land streckt sich von Osten mit aridem Klima über die Gebirge bis nach Westen mit gemäßigttem Mittelmeerklima (s. Kapitel 3). Die Ställe in Syrien sind hauptsächlich für die lokalen Rassen eingerichtet und aus bauphysikalischen Gründen sind sie für europäische Kühe nicht geeignet.

Als passender Ort für flexible und vielfältige Stallsysteme wird ein mittleres Gebiet von Syrien ausgewählt (Region Homs-Hama) (s. syrische Karte, Abb. 3.01). Die Entscheidungsgründe für diese Region erklären sich durch folgende Punkte:

1. Zentrale Lage der Region Homs in der Mitte von Syrien (s. syrische Karte, S. 30).
2. Gute Verkehrsverbindung mit allen syrischen Städten, insbesondere für Futter- und Milchtransporte.
3. Zweitgrößte Bevölkerungsdichte in Syrien in den Homs- und Hama-Gebieten.

4. Große Ansiedlung der Lebensmittelindustrie in dieser Region.
5. Vorhandensein von Wasser durch den Orient-Fluss. Die Region verfügt über gute mittlere Böden bei Niederschlägen von 400 mm im Jahresdurchschnitt. Die reichlichen Niederschläge und die guten Bodenverhältnisse begünstigen den Hackfrucht- und Futterbau. Die gute Futterwüchsigkeit des Bodens gestattet eine umfangreiche Nutztviehhaltung.
6. Vorhandensein großer landwirtschaftlicher Flächen. Die Grünlandflächen dienen vor allem für den Weidegang von Kühen und Jungvieh (Futterverfügbarkeit). Grundlage für die Winterfütterung ist der Silomais. Die Ration kann durch mittlere Heugaben und Futterrüben ergänzt werden.
7. Große Bedeutung der Milchviehhaltung in diesem Gebiet; den größten Anteil an der Nutztviehhaltung hat die Rinderhaltung mit Milcherzeugung in dieser Region (s. Abb. 3.05, S. 33).
8. Die geografische Vielfalt der Lage, die aus den Gebirgen im Westen, dem Flachland und der Wüste im Osten besteht.
9. Die klimatische Vielfalt der Homs-Region, die aus gemäßigten, semiariden und ariden Zonen besteht.

7.3.2 Raumprogramm

Das Raumprogramm für die vorgeschlagenen Anlagen besteht aus folgenden Abteilungen:

- Stallgebäude: 180 - 200 Kühe, 6 Abkalbplätze, 2 Krankenbuchten, 20 Kälberboxen, 50 Kälberplätze (2 Wochen - 6 Monate), 50 Jungviehplätze (6 Monate - 12 Monate), 50 Jungviehplätze (12 Monate bis 18 Monate), 75 Färsen, 6 Krafftutterstationen und 6 Tränken.
- Melkstand (FGM und Tandem): Milchtank - Lagerraum (für 4000 Liter), Technik, Reinigung und zwei Büros mit Umkleidekammer.
- Lagerraum: Festmistplatte ($3,6 \text{ m}^2/\text{GV}$), Jauchesilo ($3,6 \text{ m}^3/\text{GV}$), Strohlager: 4500 Stück (Rundballen $1,2 \times 1,2 \text{ m}$), Hochsilos für Grassilage à 1000 m^3 , Fahrsilos für Maissilage à 1000 m^3 , Silo für Krafftutter, Düngerlager (Flüssigdünger 60 m^3).
- Fahrzeughalle: 2 - 4 Schlepper, 2 Anhänger, Düngerstreuer, Futtermischwagen, Feldspritze, Mähwerk, Feldhäcksler, Jauchefass, Miststreuer, Grubber, Egge, Sämaschine und Pflug.
- Werkstatt ca. $100 - 150 \text{ m}^2$ und Tankstelle.

7.3.3 Schaffung eines Moduls und Maßsysteme für die Lösungsvorschläge

Grundvoraussetzung für eine Typung und Normung sowie für die Anwendung einheitlicher Montagebauweisen ist die Anpassung aller funktionellen und konstruktiv notwendigen Maße an ein Maßsystem mit festgelegtem Grundmodul und darauf aufgebauten Entwurfsrastern, unifizierten Systemmaßen und Vorzugsabmessungen.

Die Planung für den Lebensbereich der Rinder muss von der Körpergröße der Tiere ausgehen. Die Raumansprüche für die Bewegung (Aufstehen, Abliegen, Fortbewegung) hängen von den Körpermaßen ab.

Für die Planung ist es vor allem von Bedeutung, was in dem Betrieb erzeugt werden soll. Es muss daher versucht werden, bei der Gebäudeplanung verschiedene Betriebsarten zu berücksichtigen. Es sollen in den Gebäuden untergebracht werden: Menschen, Tiere, Maschinen, und landwirtschaftliche Materialien.

Obwohl die Rinder das Hauptziel für die Produktion sind, denn das Tierhaltungssystem ist nicht nur Lebensraum für Tiere, sondern auch Arbeitsplatz für Menschen, spielen Überlegungen hinsichtlich der Erleichterung der menschlichen Arbeit, des Arbeitsaufwandes und der Arbeitssicherheit bei der Gestaltung von Haltungssystemen eine wichtige Rolle.

Zur Schaffung der Grundeinheit von einheitlichen Abmessungen im Stallbau wurden die Körpermaße der Menschen und Kühe sowie die Größe der Maschinen verglichen und entsprechend berücksichtigt. Nach der Abbildung 4.01 (S. 46) wurden die maximalen Abmessungen der Kühe auf 240 x 150 x 60 cm gerundet. Von Menschen ist bekannt, dass ihre durchschnittlichen Körpermaße 180 x 60 x 30 cm sind (NEUFERT, 2002). Für Maschinen wird eine Breite und Höhe von mind. 420 cm benötigt (s. Abschnitt 4.4). Nach der Kombination dieser Maße wurde sich für das Hauptmodul für die Pläne mit $M = 120$ cm entschieden. Dieses Modul (M) bildet die Grundeinheit der Maßordnung mit arithmetischen Reihen, von denen Baustandardmaße und Systemmaße abgeleitet werden. Das Kleinraster wurde auf $\frac{1}{2} M = 60$ cm und $\frac{1}{4} M = 30$ cm und das Großraster mit $3M = 3600$, $4M = 4800$ und $5M = 6000$ festgelegt.

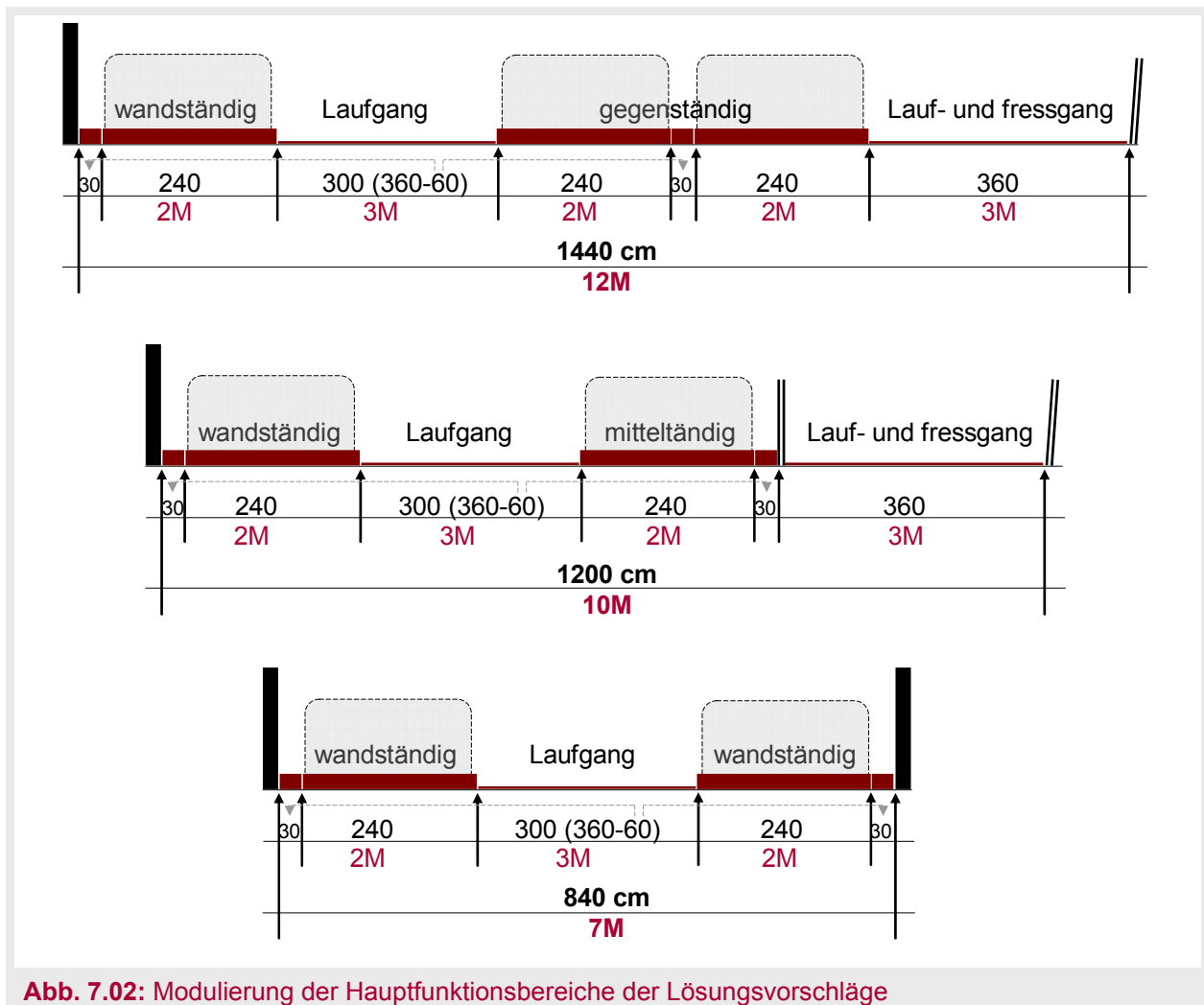
Die Lösungsalternativen der Stallanlagen werden auf der Basis dieses modularen Systems ($M=120$) entwickelt, um so je nach Bedarf in unterschiedlichen Dimensionen zur Ausführung kommen zu können bzw. sich problemlos erweitern zu lassen. Das Modul wird auch auf jede Stallfunktion angewendet (Tab. 7.01 und Abb. 7.02).

Tab. 7.01: Verwendung des Moduls M : 120 und dessen Einfluss auf einige Stallfunktionen der Lösungsvorschläge im Vergleich zu einigen Quellen

Abmessungen	Vorgeschlagene Abmessungen		n. ver. Literatur	FAL ⁵
	[cm]	[M]	[cm]	[cm]
Lauffressgang	360; 420	3M; 3,5M	290 - 430 ²	300, 350
Laufgang	240, 300 (360-60)	2M; 2,5M	220 - 260	250
Fressbreite	75	3/4M	75 ²	70, 71
Liegebox Länge - wandständig	270 (240+30)	2M+1/4M	262 ¹ , 230 - 285 ²	250, 260
Liegebox Länge- gegenständig	510 (240+30+240)	4M+1/4M	227 ¹ , 200 - 250 ²	240, 250
Liegebox Breite	120	1M	110 - 130 ²	120, 125
Futtertisch	600	5M	350 - 500 ³	450, 500
Tandemmelkstand 2x4	1200 x 600	10M x 5M	1190 x 580 ⁴	-
FGM 2x10	1560 x 540	13M x 4,5M	1500 x 510 ⁴	-
FGM 2x5	960 x 540	8M x 4,5M	900 x 510 ⁴	-

¹⁾ nach Definition der Boxenmaße, ²⁾ nach BVET, 2005, ³⁾ Handbuch Idw. Gebäude, 2001. ⁴⁾ nach AID, 1997.

⁵⁾ nach Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL - Braunschweig



7.4 Lösungsvorschläge für die Milchviehhaltung

Aufgrund der vielfältigen klimatischen und geographischen Situation Syriens und in Bezug auf die Futterbereitstellung werden mehrere Lösungsalternativen für eine moderne Stallplanung vorgeschlagen. Diese baulichen Lösungen müssen in erster Linie an die klimatischen Bedingungen und die verfügbaren Baumaterialien angepasst werden. Deshalb werden flexible Stallsysteme wie „geschlossener Stall, halbgeschlossener und offener Stall“ mit unterschiedlicher Bauweise und Materialien vorgeschlagen und geplant.

7.4.1 Lösungsalternative (L_A): Geschlossener Stall

7.4.1.1 Grundidee

In der hier dargestellten Variante - von insgesamt drei unterschiedlichen Lösungsansätzen - wird ein stark gegliedertes und massiv geplantes Gebäude betrachtet. Die Grundidee der Stallanlage basiert grundsätzlich auf einer Anordnung von vier quadratischen Einheiten mit den Funktionsbereichen Fressen, Liegen und Laufen auf einem Futtertisch. Zwei Melkhäuser mit

mit den erforderlichen Nebenräumen wurden jeweils zwischen zwei Stalleinheiten angeordnet. Jede Einheit baut auf dem Prinzip des orientalischen Hauses mit einem Innenhof auf. Alle Außenwände sind fast geschlossen. Die Zulüftung erfolgt durch den Innenhof und Windfänge, die sich an der äußeren Seite befinden (Abb. 7.03).

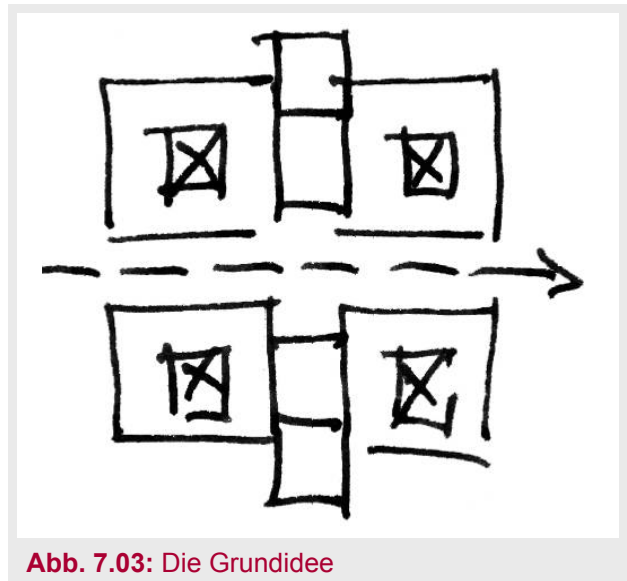


Abb. 7.03: Die Grundidee

7.4.1.2 Hauptidee

A. Lageplan

Die gesamte Anlage besteht aus Stallgebäude, Fahrzeughalle, Strohlager, Futterlager und

Dunglager sowie Nebenräumen. Das Stallgebäude wird in der Mitte der Anlage geplant. An der südöstlichen Seite des Stallgebäudes werden die Fahrzeughalle, eine Werkstatt und das Strohlager geplant, zwischen Stall und Nebengebäuden liegt ein großer Wirtschaftshof mit Hochsilos. Die Fahrsiloplanlage wird bei westlicher Hauptwindrichtung überwiegend im Osten der Stallanlagen geplant. Auf der windabgewandten Seite befinden sich im Norden Güllebehälter, Festmistplatte und Dungstätten. Sie liegen in Verlängerung der Dunggänge, damit sich Futter- und Dunggänge nicht überkreuzen.

Für die Aufbereitung und Zwischenlagerung von Futtermitteln wird ein Futteraufbereitungsplatz geplant. Der Platz wurde deshalb in die Verlängerung des Futterganges unmittelbar an den Stallraum gelegt. Von hier werden die Futtermittel in die Ställe befördert und verteilt.

Zwei Milchhäuser befinden sich im Stallgebäude. Das eine davon ist an der schattigen Nordseite des Stallgebäudes und das andere liegt an der südlichen Seite des Stalles, mit vielen Beschattungen durch die Bäume. Die beiden Milchhäuser sind außerhalb des Windschattens von Dungstätten, Jauche- und Gärfutterbehältern vorgesehen (Abb. 7.04 und 7.05).

B. Abteilungen und Funktionen der Stallgebäude

■ Abteilungen

Vier quadratische Stallgebäude mit den Abmessungen 21,60 x 21,60 m (18 M) an einem gemeinsamen Futtertisch aufgereiht, bilden den Milchviehstall. In der Mitte jeder Einheit befindet sich ein Innenhof als Kühl- und Luftraum. Jede Stalleinheit besteht aus je 45 Milchkühen, die in geschlossenen Ställen gehalten werden, um die Tiere vor Hitze und schlechter Witterung zu schützen. Die Kühe liegen in vier Reihen, drei davon um den Hof und eine an der Außenwand. Zwischen den vier Ställen befindet sich ein befahrbarer Futtergang. Zwischen zwei Stallgebäuden mit den Funktionen Fressen, Liegen, Melken und Entmisten ist ein Melkhaus einschließlich der erforderlichen Nebenräume angeordnet. Die Stalleinheiten und das Melkhaus bilden einen zusammenhängenden Teil der Produktionsanlage. Das Melkhaus ist direkt an den Ställen vorgesehen. Ergänzt wird die Anlage durch weitere Gebäudeteile mit Abkalbe-, Kälberaufzucht- und Jungviehbereich sowie einen Liegeboxenlaufstall für Färsen und trocken stehende Kühe.

Für die günstige Jahreszeit steht den Kühen ein Auslauf mit überdachtem Liegebereich zur Verfügung (Abb. 7.04 - 7.06).

■ Funktionen (Abb. 7.07)

■ *Fütterung:* Das Futter der Kühe besteht aus Heu, Mais- und Grassilage. Es wird von den Feldern geholt und im Hochsilo oder Fahrsilo gelagert. Zur Fütterung der Tiere wird es mit Hilfe des Futter-Mischwagens auf dem Futtertisch verteilt. Die Länge des Fressbereiches wird durch die Anzahl der Kühe bestimmt; nach Möglichkeit sollten alle Kühe zur gleichen Zeit fressen können. In jedem Stallabteil stehen zwei Kraftfutterstationen zur Verfügung. Auch für die Fär- sen und das Jungvieh wird das Futter automatisch durch die Futterwagen verteilt. Im Kälber- und Abkalbebereich wird das Futter von Hand verteilt. Für das Tränken sind Selbsttränken in- stalliert.

■ *Melken:* Für zwei Kuhställe (90 Kühe) wurde ein Melkstand mit den erforderlichen Funkti- ons- und Nebenräumen, wie Tanklager für einen 2000-l-Milchtank, geplant. Der Autotandem- Melkstand mit 2 x 5 Plätzen ermöglicht ein kontinuierliches und stressfreies Melken. Die Kühe können sich im Laufgang zwischen den Liegeboxen sammeln und warten, bis sie durch eine Abtrennung in den Melkstand gelangen. Nach dem Melken soll ein kleiner Bereich für die Kont- rolle vorhanden sein. Das besondere Merkmal dieser Alternative ist die Verbindung von Ställen mit dem Melkhaus. Der Melkstand bietet sehr gute Voraussetzungen zur Gewinnung einer hy- gienisch einwandfreien Milch.

■ *Entmistung:* Die Kanäle unter den Lauf- und Fressgängen sind mit Spaltenböden abge- deckt. Der Flüssigmist gelangt in Form des Treibmistverfahrens von hier direkt in den Güllebe- hälter, der für einen Lagerzeitraum von 6 Monaten ausgelegt wurde. Die erforderliche Größe ergibt sich aus den vorhandenen Großvieheinheiten, multipliziert mit $1,5 \text{ m}^3$ je Monat.

■ *Regenwasser:* Um Regenwasser zu gewinnen wurde ein Wassertank für je zwei Einheiten unter dem Melkstand geplant. Das Wasser wird von dem geneigten Stalldach durch Leitungen in die Tanks geleitet; es wird zum Spülen und Reinigen genutzt.

C. Konstruktion und Baustoffe

Jede Einheit basiert auf einem modularen System, d. h. einem Raster von 3,60 x 3,60 m. Die Konstruktion des Stalles besteht aus Innensäulen von Stahlbeton und tragenden Außenwänden.

Die relativ dicken Außenwände werden als massive, tragende Konstruktion mit praktischem Material ausgeführt und somit wird die Erwärmung des Stallinnenraumes verringert resp. zeit- lich verzögert. So wird das Stallklima gegen das Außenklima an extrem heißen Tagen oder Stunden abgeschirmt und auch die Kühle der Nacht wird gespeichert und tagsüber nach innen abgegeben. Diese bauphysikalischen Eigenschaften können bei verschiedenen Baumaterialien vorhanden sein. Nach der Auswertung der Versuchsergebnisse (V_3) können Baumaterialien wie z.B. Strohlehm, Ziegel und Holz sowie Gummi gute Baustoffe für die Außenwände sein. Als günstiges und praktisches Baumaterial könnte Porenbeton für die Stallaußenwände verwendet werden. Die Porenbetonkonstruktionen haben eine geringe Wärmeleit-fähigkeit (winterlicher Wärmeschutz) und eine wärmespeichernde Rohdichte (sommerlicher Wärmeschutz), die ein günstiges Temperaturamplitudenverhältnis bewirken. Ebenso vorteilhaft ist die Phasenver-

schiebung bei homogenen Porenbetonkonstruktionen. Für eine Wand aus 300 mm Porenbeton beträgt die Phasenverschiebung z. B. ca. 12 Stunden (www.xella.de) (s. Anhang, Abb. A3.04).

Die Dachkonstruktion ist belüftet und zweischalig aus Blech. Sie ist zum Innenhof mit einem Winkel von 20° geneigt und mit einer glatten, hellen und reflektierenden Oberfläche versehen, um ein Abgleiten der Kaltluft zu begünstigen. Dieses Dachsystem könnte eine einfache Lösung und Konstruktion sein, um die inneren Räume vor der extremen Außenhitze zu schützen.

D. Lüftungs- und Kühlmethoden (Abb. 7.08)

Der optimale Temperaturbereich für Milchkühe liegt zwischen 0 und 20 °C und die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 50 - 80 %. Dies zu erreichen stellt für aride Gebiete ein großes, nahezu unlösbares Problem dar. Durch technische Hilfsmittel und raffinierte Planung wurde versucht, diese regionalen Besonderheiten zu kompensieren.

Um Energie zu sparen und die Unterhaltskosten zu minimieren und die Umwelt nicht zu belasten, wird der Stall mit „freier Lüftung“ betrieben. Dabei werden verschiedene Systeme wie Innenhöfe und Windfänge, Wasserdampf und Ventilatoren, aber auch der Temperaturunterschied von Tag und Nacht sowie die Abkühlung durch das Erdreich genutzt.

Jede Einheit verfügt über ein begrüntes Atrium, das tagsüber mit einer beweglichen Lamellenkonstruktion abgedeckt ist. Nachts sinkt die Kaltluft in diesen, dann geöffneten Innenhof ab und wird am Vormittag des Folgetages in den Stallbereich geleitet (Abb. 7.08 – unten, rechts). Durch Wasserbecken im und unterhalb des Innenhofs wird die adiabatische Kühlung (Verdunstungskälte) genutzt. Die Zuluft wird mit Feuchtigkeit angereichert, was eine zusätzliche Abkühlung bewirkt.

Am Tage gelangt die Zuluft über 18 m hohe Windfänge, die zur Hauptwindrichtung West/Südwest ausgerichtet sind, und durch Kanäle im Erdreich unterhalb des Gebäudes in den Stallbereich (Abb. 7.08 – unten, links). Die nahezu konstant aus einer Himmelsrichtung vorherrschenden Winde mit einer relativ hohen Anströmgeschwindigkeit von 8 m/s begünstigen diese Bauweise. So werden im Stallgebäude noch Luftgeschwindigkeiten von ca. 1 m/s und Luftwechselraten von 600 m³/h/GV erzielt.

7.4.1.3 Weitere Ideen und Möglichkeiten mit EWT-Varianten

Als Modifikationen werden zwei Varianten mit EWTs vorgeschlagen. In einer Variante werden durch EWTs mit tief verlegten Kanälen (bis ca. 10 m) die Stallinnenräume gekühlt. In einer zweiten Modifikation wird der Grundriss der Stalleinheiten vereinfacht und kompakt in einen Großstallraum umgewandelt. Für die Belüftung dieser Alternative wurden EWT mit Flachkanälen (3 m Tiefe) geplant. Die Außenwände und das Dach sind wie in der Hauptlösung (L_A) vorgeschlagen. Zum Melken wird hier ein Side-by-Side-Melkstand geplant (Abb. 7.09).

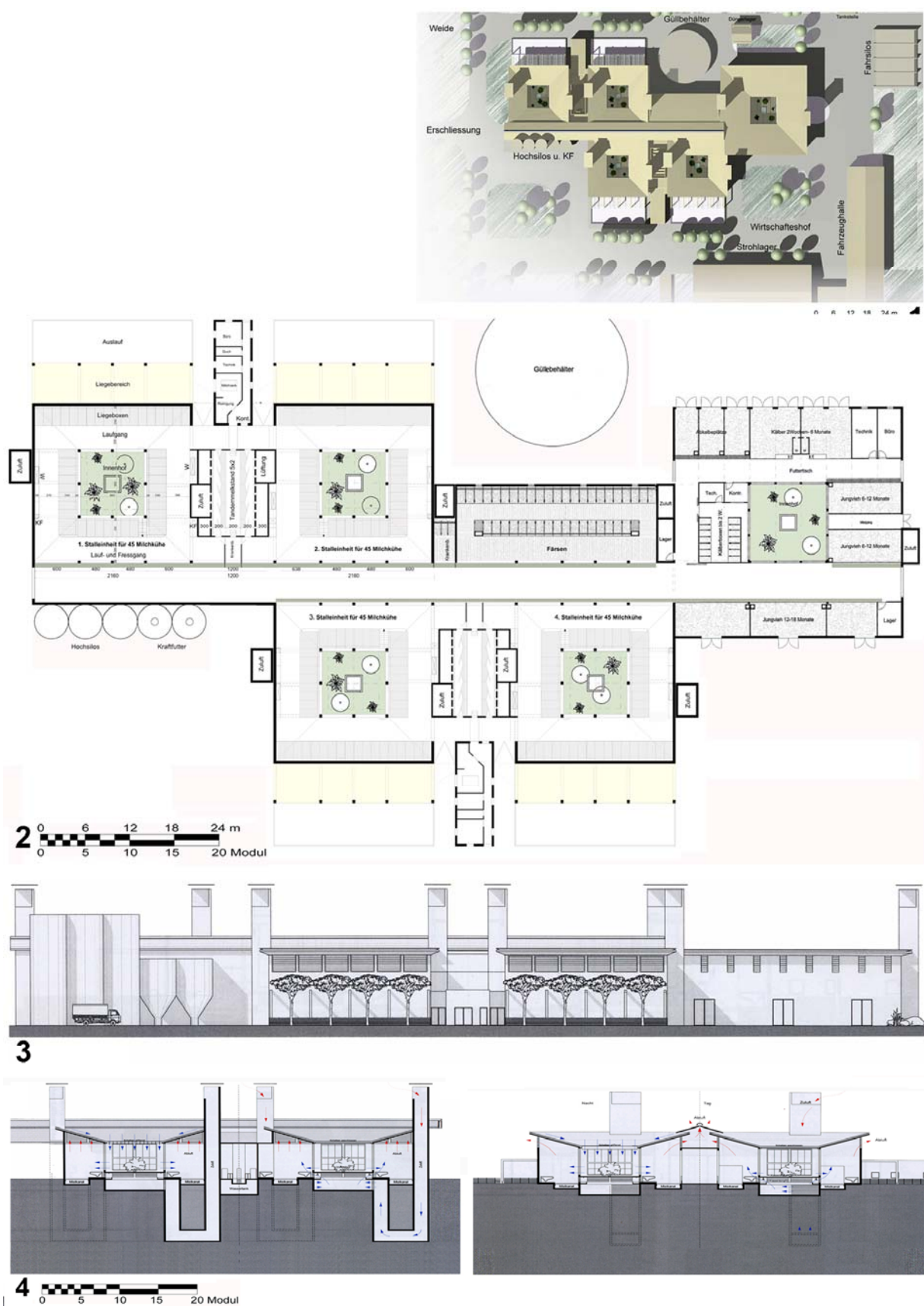


Abb. 7.04: Lösungsvorschlag (L_A): Geschlossener Stall
1 Lageplan, 2 Grundriss der Stallgebäude, 3 Südliche Ansicht, 4 Abschnitte

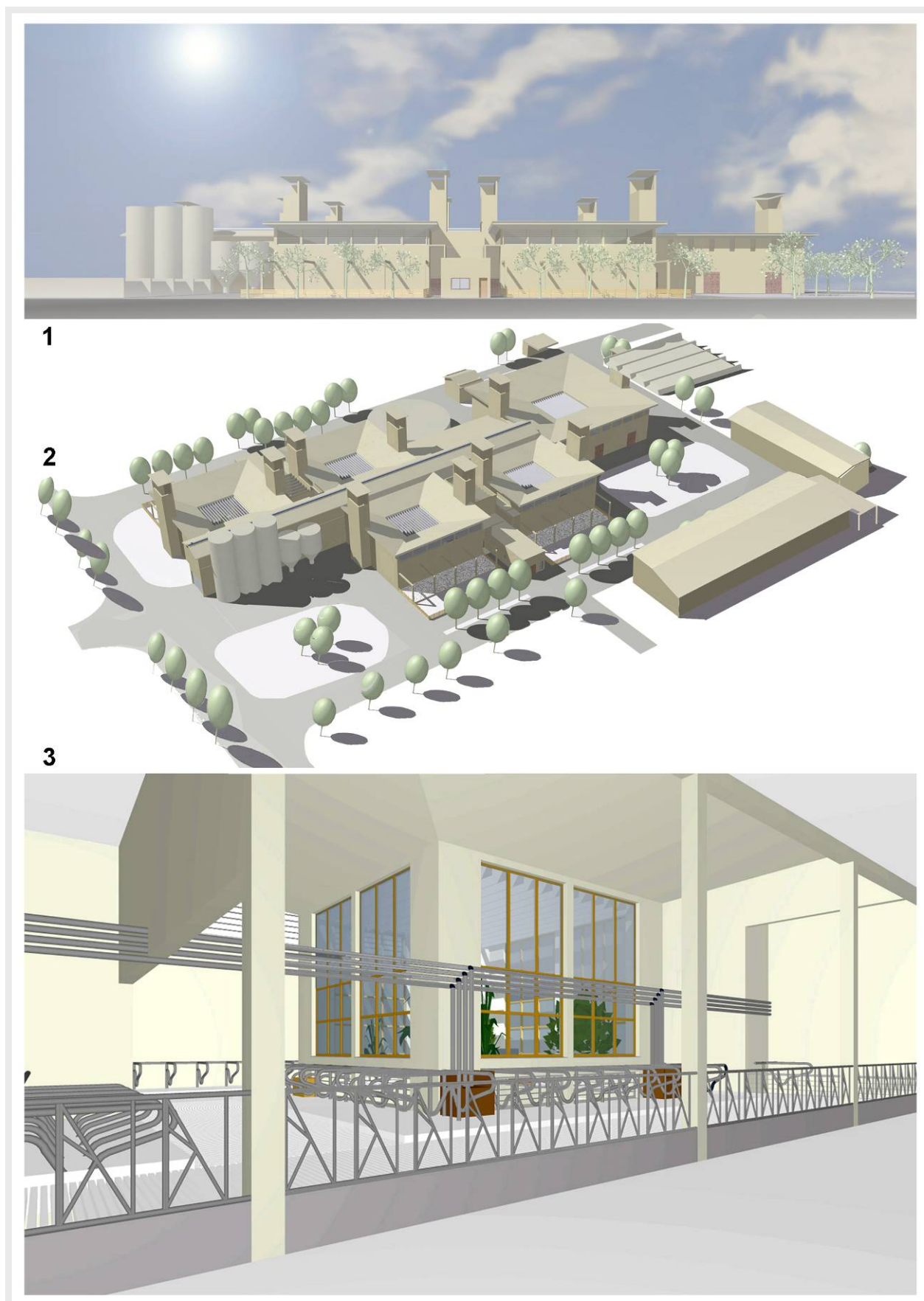


Abb. 7.05: Lösungsvorschlag (L_A): Geschlossener Stall
1 Perspektivische Ansicht, 2 Außenperspektive, 3 Innenperspektive

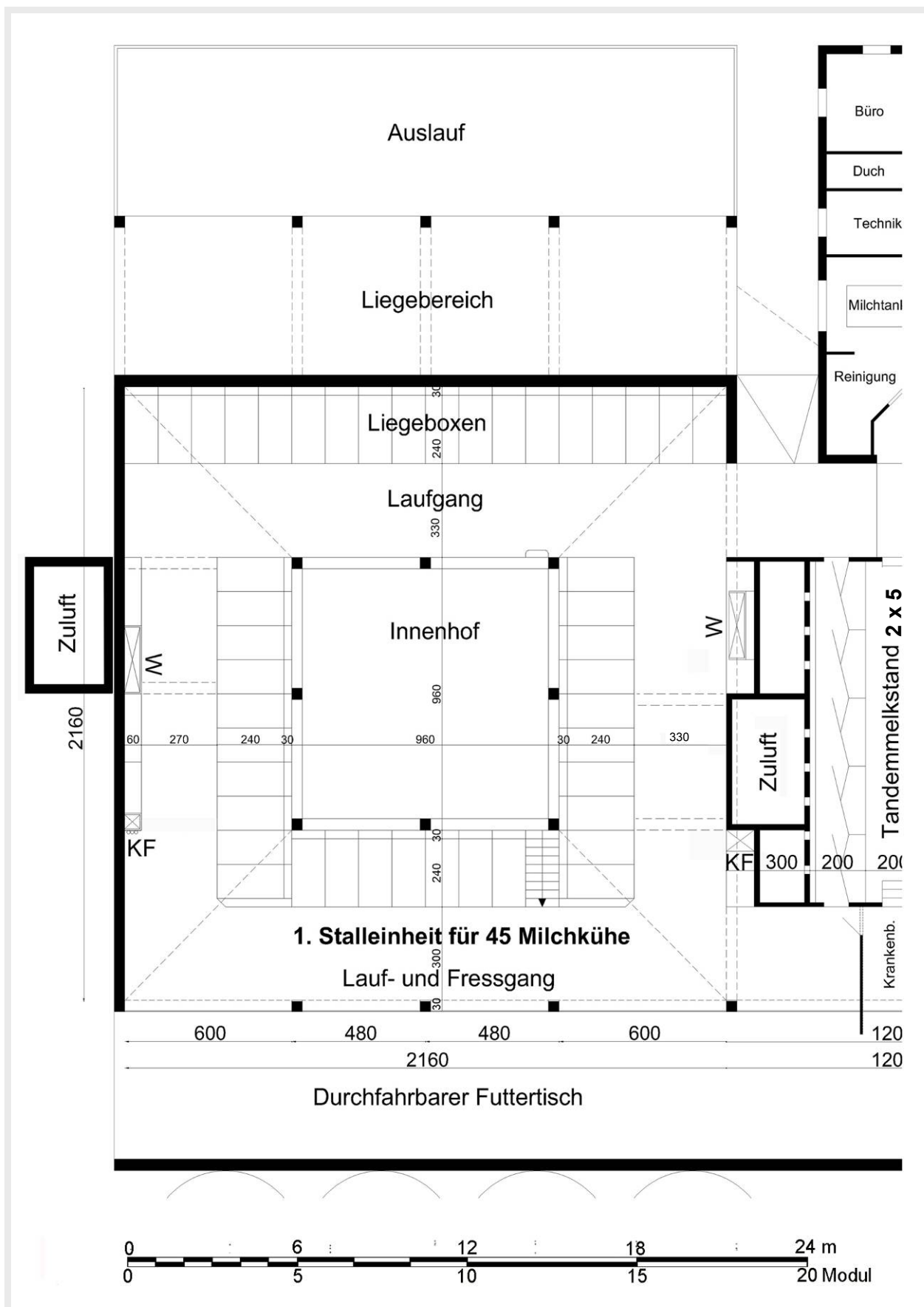


Abb. 7.06: Lösungsvorschlag (L_A): Geschlossener Stall
Grundriss der Stalleinheit

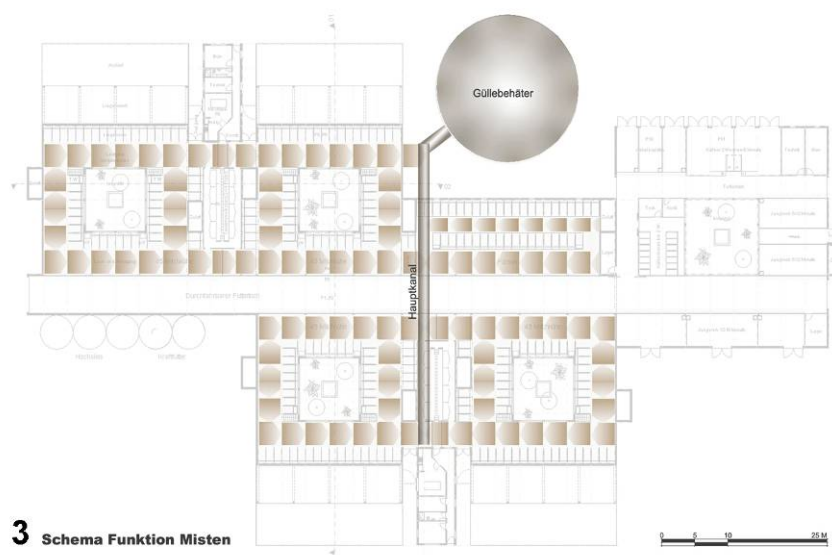
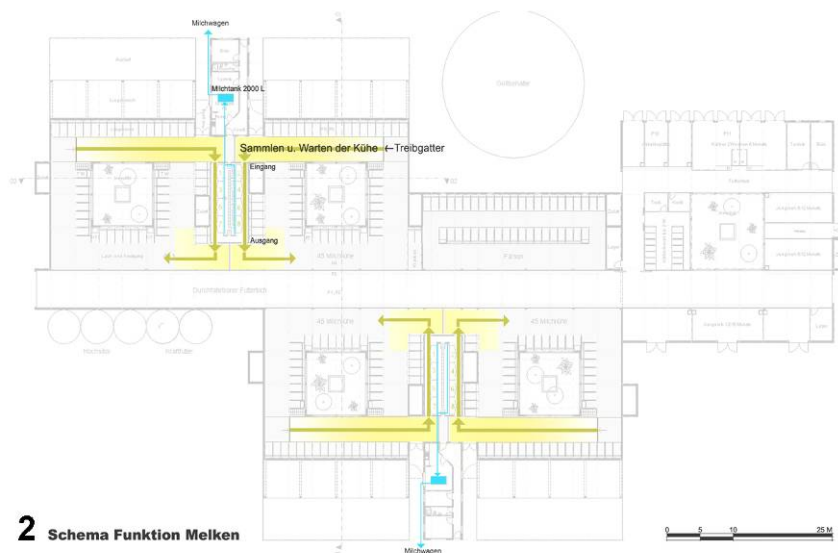
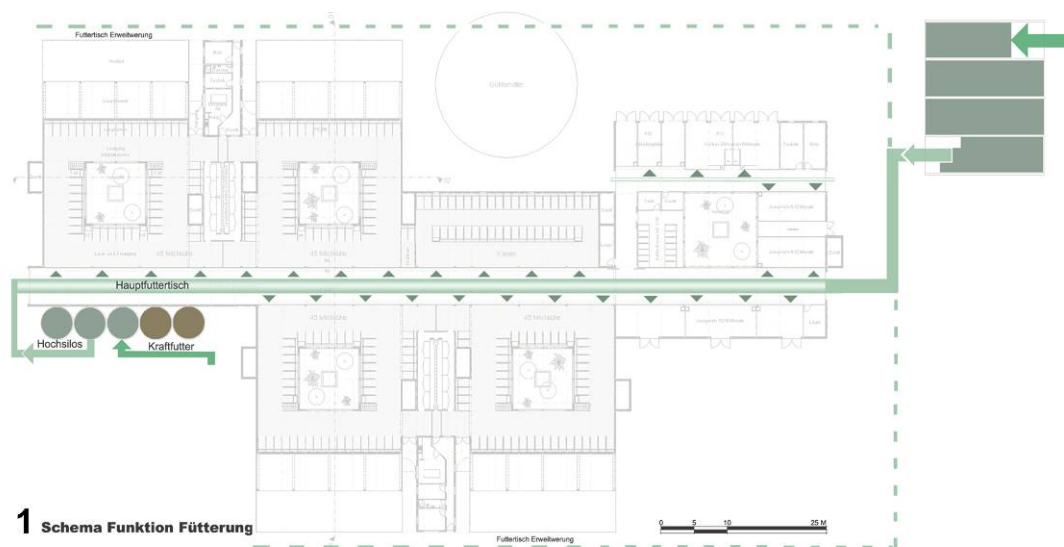


Abb. 7.07: Lösungsvorschlag (L_A): Geschlossener Stall

Funktionsbereiche: 1 Fütterung, 2 Melken, 3 Misten

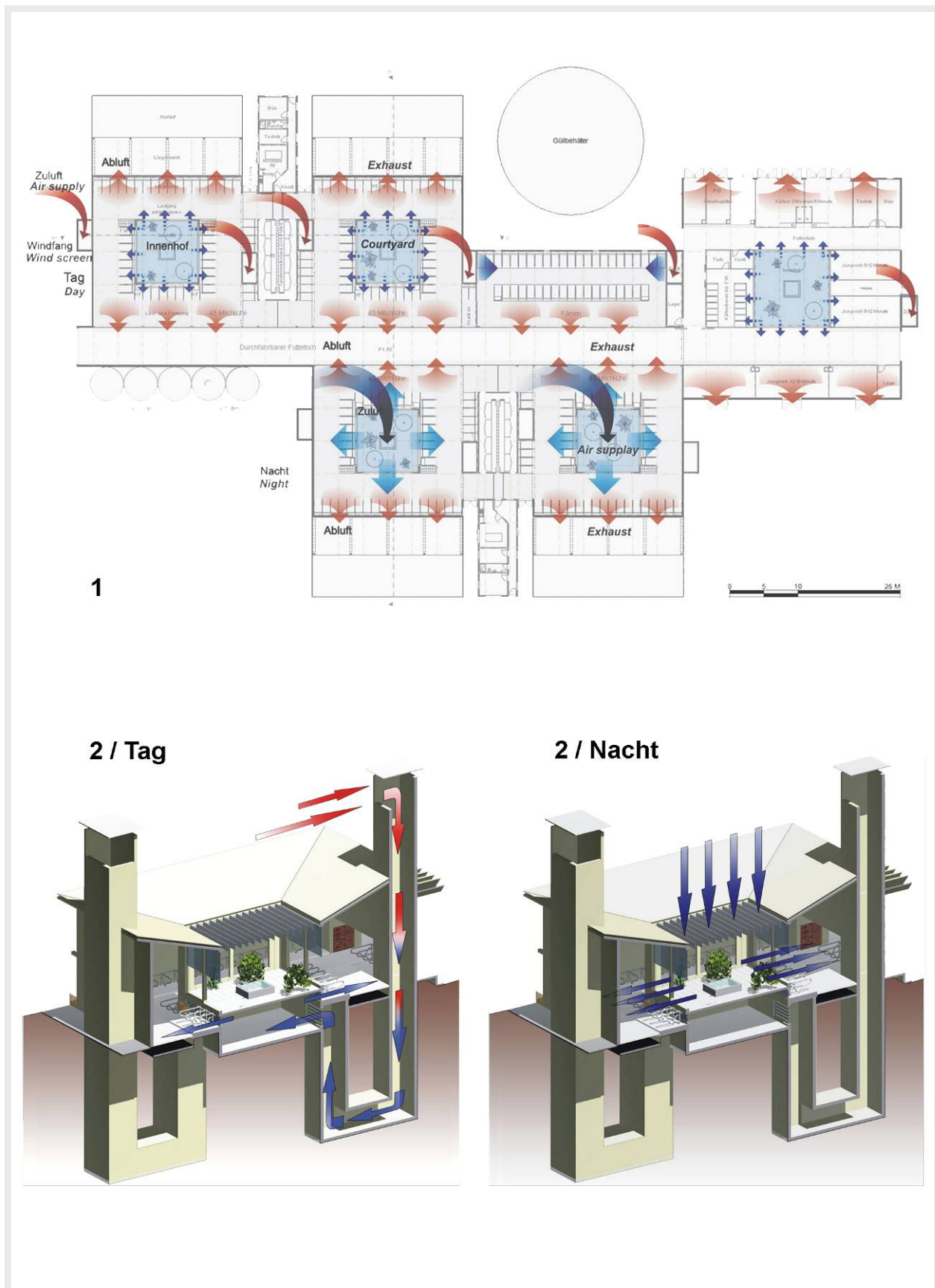


Abb. 7.08: Lösungsvorschlag (L_A): Geschlossener Stall

1 Funktionsbereich: Lüftung

2 Perspektivische Darstellung eines Innenhofes und der Lüftungsfunktion (Tag und Nacht)

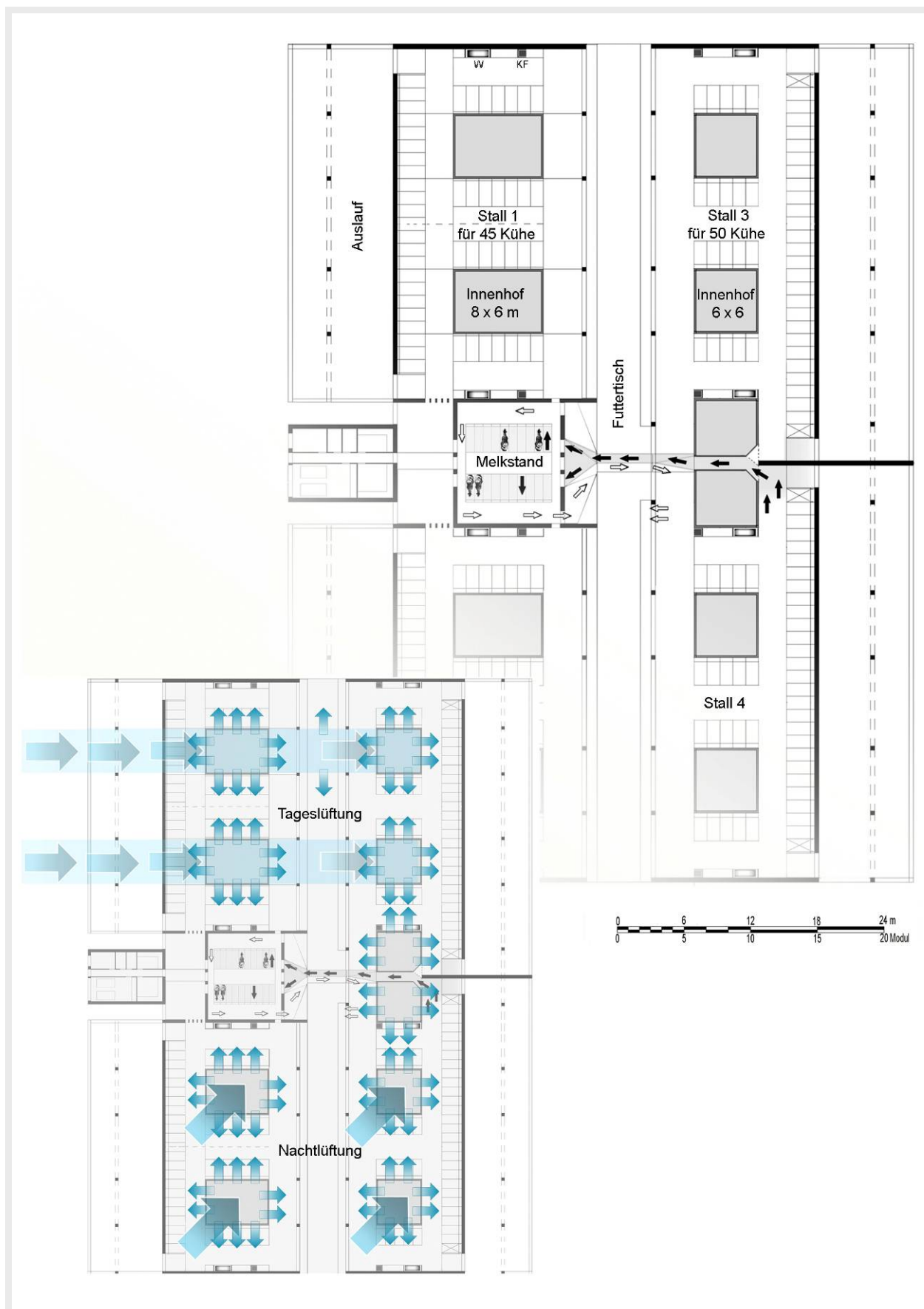


Abb. 7.09: Lösungsvorschlag (L_A): Geschlossener Stall
Weiterentwickelte Ideen

7.4.2 Lösungsalternative (L_B): Halb geschlossener Stall

7.4.2.1 Grundidee

In der Grundidee wurden 180 Milchkühe in kleinen Einheiten verteilt. Jede Einheit umfasst 20 Kühe. Die Idee basiert auf dem Kammstall, wobei die Boxenreihen nicht parallel zum Futtertisch angeordnet, sondern um 90 Grad verdreht sind, damit die Fläche gut genutzt werden kann. Die Einheiten von Kammställen wurden an den östlichen und westlichen Seiten eines quadratischen Hofes angeordnet und nach innen geöffnet. Zwei Futtertische wurden zwischen Stalleinheiten und Innenhof geplant. Der Melkstand mit Warteraum wurde an der nördlichen Seite des Hofes, die Kälber- und

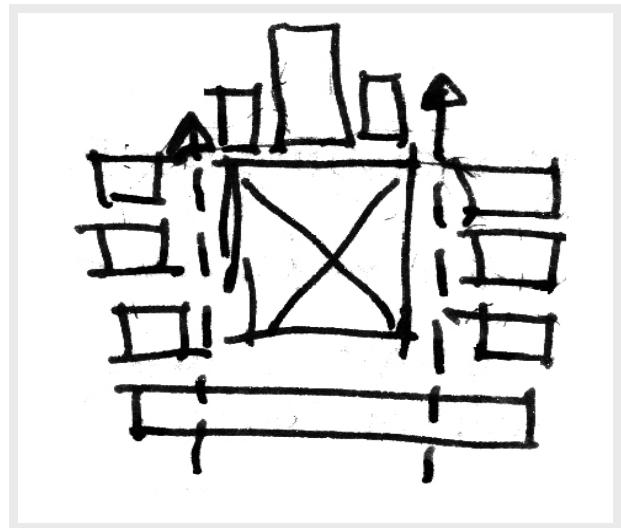


Abb. 7.10: Die Grundidee

Jungviehställe wurden an die südliche Seite gelegt. Als Baumaterialien wurden hier Lehm und Ziegel gewählt (Abb. 7.10).

Die Idee wurde entwickelt, um eine kompakte Stallanlage zu formen. Der quadratische Hof wurde zum gerundeten Hof umgestellt. Die Kammställe (die Einheiten) wurden direkt zum Innenhof geöffnet, dafür wurde der Futtertisch an die Außenseite der Einheiten gelegt. Um die beiden Seiten des Futtertisches zu nutzen, wurde die andere Stallabteilung wie z.B. Kälber- und Jungviehställe, Auslauf und Milchhaus usw. an der zweiten Seite angeordnet. Sie wurden in Bezug auf Himmelsrichtung, Sonnenschein und Hauptwindrichtung gelegt.

7.4.2.2 Hauptideen

A. Abteilungen der Stallgebäude (Abb. 7.11 - 7.14)

Die Hauptidee ist eine halb geschlossene, zehneckige, kompakte Stallanlage für etwa 180 Kühe mit zentralem Innenhof und Melkstand sowie halb offenem Futtertisch. Charakteristisch für diesen großen Kompaktbau ist, dass außer dem Kuhstall auch unter dem gleichen Dach Abkalbestall, Jungviehstall und alle Nebenräume zusammengefasst sind. Durch die zehneckförmige Anlage liegen alle Ställe in gleicher Entfernung zum Innenhof. Es entstehen somit sehr kurze Wege für die Kühe.

In der Mitte wurde ein großer Innenhof stationiert. Die Milchviehställe bestehen aus 9 Einheiten von Kammställen und jede Einheit umfasst 20 Kühe. Die Stalleinheiten wurden von der inneren Seite (Kante) zum Innenhof geöffnet und von der anderen Seite (außen) mit einem fahrbaren Futtertisch geöffnet. Auf der östlichen Seite des Hofes wurde ein Melkstand geplant. Ein fahrbarer Futtertisch würde die Stalleinheiten von außen abrunden. Die äußeren Seiten des Futtertisches wurden in Bezug auf Sonne und Windrichtung mit folgenden Abteilungen besetzt:

- Auf der nördlichen Seite wurden Färsenstall und Kälber- und Jungviehställe geplant.

- Auf der östlichen Seite befindet sich ein Ergänzungsgebäude, das aus Melkstand, Kälberstall, Abkalbestall, persönlichen Räumen, Büros und Umkleideraum sowie einem eigenen Innenhof besteht.
- Auf der südlichen Seite, wo der Sonnenschein mittags stark ist, wurde ein Auslauf geplant. Dort können die Kühe nur am Morgen und Nachmittag auslaufen.
- Nach der westlichen Seite öffnet sich die Stallanlage zur Hauptwindrichtung zwecks Förderung der Stalllüftung.

Außerhalb der Stallanlage wurden auf der östlichen und südlichen Seite ein Wirtschaftshof mit Maschinen- und Strohlager sowie ein Flach- und Fahrsilo geplant. Auf der nördlichen Seite befinden sich Jauchebehälter, Mistplatte und Dungstätte (Abb. 7.11).

B. Funktionen

- **Fütterung:** In den Kuhställen und im Abkalbestall erhalten die Tiere das Frischfutter, die Silage, die Rüben oder Raufutter durch schleppergezogene Futterverteilungswagen. Das Grünfutter wird zweimal täglich bereitgestellt. Der Futtertisch ist ein Kreisweg mit ca. 6 m Breite und einem Durchmesser von ca. 30 m, damit die Wagen bequem durchfahren können. Die Länge des Fressbereiches (der innere Rand des Futtertischs) wird genau berechnet, damit alle Tiere gleichzeitig fressen können (Abb. 7.11 und 7.13).
- **Melkhaus:** Die Melkanlage befindet sich auf der östlichen Seite des Innenhofes. Ein Fischgrätenmelkstand von 2 x 10 m wurde für die benötigten Räume geplant. Der Innenhof dient als Sammelplatz für die Kühe. Am Rand des Innenhofes ist ein Rückkehrweg als Übergang für die Kühe vom Melkstand zu den Stalleinheiten vorgesehen. Die Stalleinheiten, das Milchhaus und der Innenhof bilden einen zusammenhängenden Teil der Produktionsanlage.
- **Entmistung:** Die Kanäle sind unter den Lauf- und Fressbereichen mit Spaltenböden geplant. Der Mist fließt durch bedeckte Kanäle von den Milchkuhstalleinheiten und wird unter dem Innenhof gesammelt. Danach wird er mit einer Pumpe in den Güllebehälter gepumpt und dort für 6 Monaten gelagert.

C. Konstruktion und Baustoffe (Abb. 7.13 und 7.14)

Diese Alternative basiert grundsätzlich auf zwei Ideen:

- erstens: Verteilung der Kühe auf einzelne Gruppen in Stalleinheiten mit Kammstallform, zwecks einfacher Belüftung und Kühlung sowie Beaufsichtigung;
- zweitens: Schaffung einer großen Baumasse und Bauteile, um die inneren Temperaturen während des extremen Klimas zu regulieren.

Die Kühe wurden auf 9 Einheiten verteilt, in denen sie in einem halb geschlossenen System mit separatem Liege- und Ruheraum gehalten werden. Der Liegeruheraum basiert auf einem Modularsystem, seine inneren Abmessungen sind: Breite 840 cm (7 M) und Länge 1200 cm (10 M). Der Fress- und Laufbereich ist außen, der Liegeraum ist mit 480 cm Breite vorgesehen. Die Länge der Fressgitter wurde berechnet, um ein Tier-Fress-Verhältnis (TFV) von 1:1 zu erreichen.

Die Konstruktion der Einheiten besteht aus tragenden Wänden mit 60 cm Dicke. Diese Wände sind massiv aus Lehm und Ziegel erstellt. Der Lehm ist als natürliches und traditionelles Bau-

material in den ariden und semiariden Gebieten bekannt. Er hat sehr gute Eigenschaften für die Dämmung sowie Wärme- und Kältespeicherung. Zum Abschirmung der Lehmwände gegen die Kühe wurden die Fundamente der tragenden Wände aus Ziegel bis 120 cm Höhe geplant und mit metallischen Gittern vorgesehen.

Die Dächer der Kuh-, Kälber- und Jungviehställe sind aus Lehmgewölbe geplant. Um die Dächer tagsüber nicht zu schnell zu erhitzen, werden sie durch ein zweites, leichtes und helles Blechdach beschattet. Das Dach des Futtertischs wurde aus Lamellen geplant, die sich öffnen, wenn es keinen starken Sonnenschein gibt.

Die Stallanlage, die aus Kuh-, Kälber- und Jungviehställen besteht, wurde in derselben Bauweise errichtet. Das Ergänzungsgebäude, das an der östlichen Seite liegt und aus Abkalbepplatz, Milchhaus (ohne Melkstand) und den persönlichen Räumen besteht, wurde mit gemischten Bausystemen konstruiert. Die Außenwände sind in tragender Lehmbauweise vorgesehen und die inneren Bauteile sind aus normalem Ziegel geplant. Das Dach des gesamten Ergänzungsgebäudes wurde mit Begrünung der Oberflächen vorgesehen.

D. Lüftungs- und Kühlmethoden (Abb. 7.15)

Die 180 Kühe wurden in kleine Einheiten verteilt, damit jede Gruppe leicht und kontrollierbar zu belüften ist. Jeder Raum umfasst genügend Luftraum (für jede Kuh bis 35 m³).

Die Lösung basiert auf dem halb geschlossenen System, d. h. dass die Stalllüftung und -kühlung auf mehrere Methoden und Prinzipien vertraut. Während des günstigen Wetters (im Winter oder im Sommer, wenn es keinen starken Sonnenschein gibt und während der Nacht) werden die Ställe direkt durch den Innenhof und das verstellbare Lamellendach des Futtertischs belüftet. Alle Öffnungen werden aufgemacht, damit die Stallräume schnell mit frischer Luft versorgt werden können. Diese Öffnungen werden abhängig von der Außentemperatur geöffnet (Abb. 7.15, mittel). Bei extremem Wetter und sehr heißen Außentemperaturen können die Stallräume durch die Zwischenräume und nach bestimmten Methoden belüftet und gekühlt werden. Die Zwischenräume, die sich zwischen den Stalleinheiten befinden, werden als „Befeuchtungskühlkammer“ genutzt. Sie werden aus geschlossenen und gedämmten Wänden geplant und mit Metalllamellen abgedeckt. Bei günstigem Wetter bleiben diese Räume geöffnet, um die Ställe zu belüften. Aber im Sommer werden diese Räume durch Nachtlüftung gekühlt, da ihre Dächer während der Nacht geöffnet bleiben. Am Tag nach 10 Uhr werden die Dächer geschlossen, um die Kälte, die während der Nacht gespeichert wurde, so lang wie möglich zu erhalten.

Bei direkter Luftkühlung durch induzierte Verdunstung wird die zu behandelnde Luft von einem Windfang durch die Befeuchtungskühlkammer geführt, in welcher die induzierte Luftströmung durch eine mit Wasser befeuchtete Strohmatte, Gewebe oder Wasserbecken gesaugt wird. Die Zuluft wird mit Feuchtigkeit angereichert, was zu einer zusätzlichen Abkühlung führt (Verdunstungskälte). Als Zuluftversorgung für diese Räume werden hier zwei Alternativen vorgeschlagen:

- Erste Alternative: Die Zulüftung erfolgt hier durch 10 Windtürme, die an die Raumdächer der Zwischenräume gelegt und nach der westlichen Hauptwindrichtung ausgerichtet werden. Die Luft wird hier während des Tagesverlaufes durch die Windfänge eingeblasen und

in die Zwischenräume gedrückt, damit sie den Innenstallraum durch bestimmte und berechnete Öffnungen direkt an den Liegeboxen erreicht (Abb. 7.11, 7.12).

- Zweite Möglichkeit: Es werden hier Windfänge mit Erdwärmetauscher benutzt und kombiniert. Die Zuluftversorgung wird vom der Ansaugöffnung, die an der westlichen Seite der Stallanlage liegt und nach der Hauptwindrichtung geöffnet ist, über das Erdwärmetauscherfeld angesaugt und dann über großen Kanäle in der Bodenplatte in Steigeschächte geführt, die an der Unterseite der Stalleinheiten und in Zwischenräumen angeordnet sind. Die frische Luft wird durch einen runden Kanal unter den Kuhställen in kalte Zwischenräume eingeführt, dort wird sie befeuchtet und direkt an die Liegeboxen durch berechnete Öffnungen und mit optimaler Luftgeschwindigkeit eingeleitet. Während dieser Lüftungsfunktion werden alle Außenöffnungen geschlossen (Abb. 15, unten).

Die Abluft aus dem Stall wird im Sommer über geöffnete Türen in den Innenhof abgeführt und gelangt durch den thermischen Auftrieb über Abluftöffnungen im Lamellendach des Futtertisches und Fenster oberhalb des Liegebereiches nach außen (s. Abb. 7.27).

Die Ergänzungsgebäude werden durch den Innenhof belüftet und durch die Dachbegrünung gedämmt. Neben dieser Funktion spielt auch die Nachtkühlung eine große Rolle. In der Nacht werden die Außenbauteile (Wände und Dächer) gekühlt und die Kälte gespeichert. Sie geben diese Kälte zum Innenraum bis mittags ab.

7.4.2.3 Weitere Möglichkeiten (Abb. 7.16)

Die Hauptidee dieser Varianten wurde weiterentwickelt und durch folgende Funktionen verändert:

- Zur Erleichterung der Futterwagenbewegung wurde der Futtertisch in eine runde Form geändert. Deshalb wurde die gesamte Anlage vom Zehneck zur Kreisanlage entwickelt.
- Die Kapazität der Stalleinheiten wurde auf 24 Kühe geändert.
- Ein- und Ausgang zu den Ausläufen sowie zum Erweiterungsteil geplant, die auf der Verlängerungsachse an der westlichen Seite der Stallanlage angeordnet wurden. Die Ausläufe wurden mit einem leichten Blechdach bedeckt.
- Auf der südlichen Seite wurden Strohlager, Maschinengebäude sowie Hochsilos als Schutz gegen Sonnenschein geplant.
- Die Färsen-, Kälber- und Jungviehställe sind an der nördlichen Seite vorgesehen.
- Der Melkstand wurde vom Fischgrätenmelkstand zum Karussellmelkstand umgestellt und er wird im Innenhof angelegt. Deshalb wurden die zusätzlichen Gebäude für Melkhaus, Abkalbeplätze, Kälber- und Personalräume geändert.

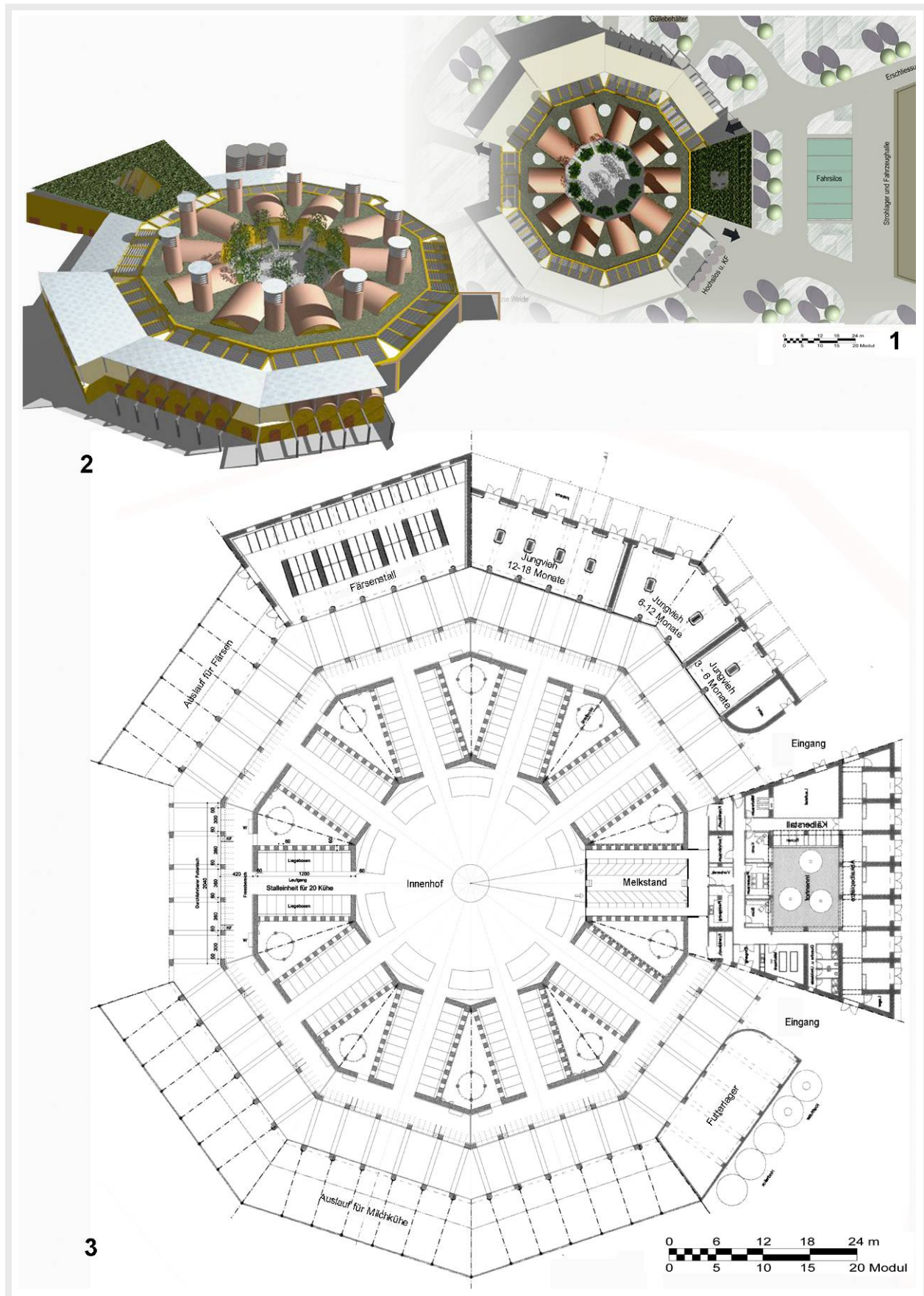


Abb. 7.11: Lösungsvorschlag (L_B): Halb geschlossener Stall

1 Lageplan, 2 Vogelperspektive, 3 Grundriss der Stallanlage

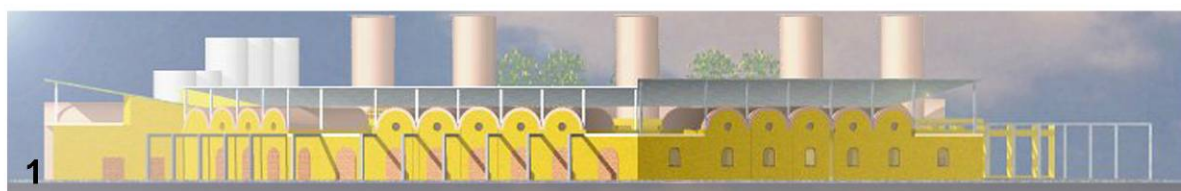
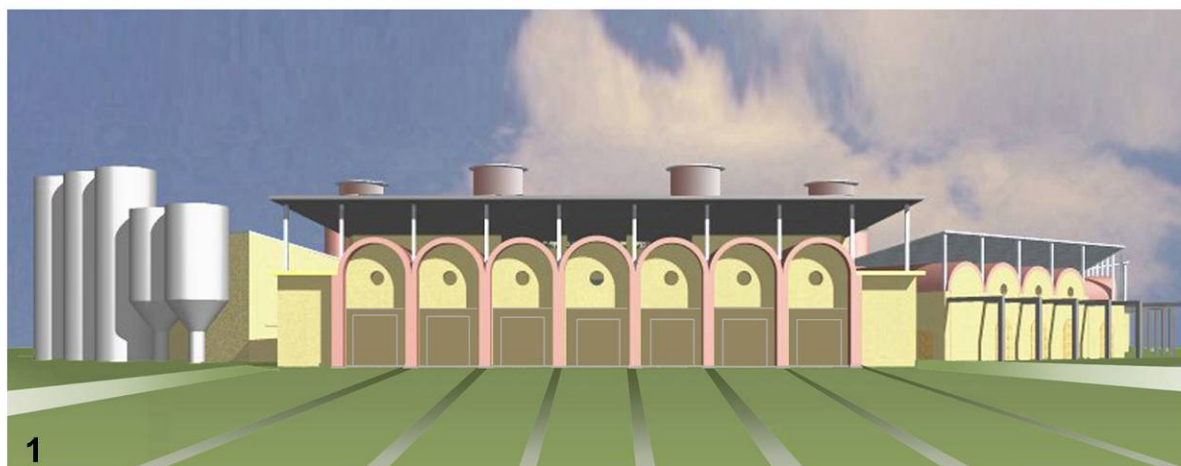


Abb. 7.12: Lösungsvorschlag (L_B): Halb geschlossener Stall
1 Perspektivische Ansichten, 2 Perspektivischer Abschnitt

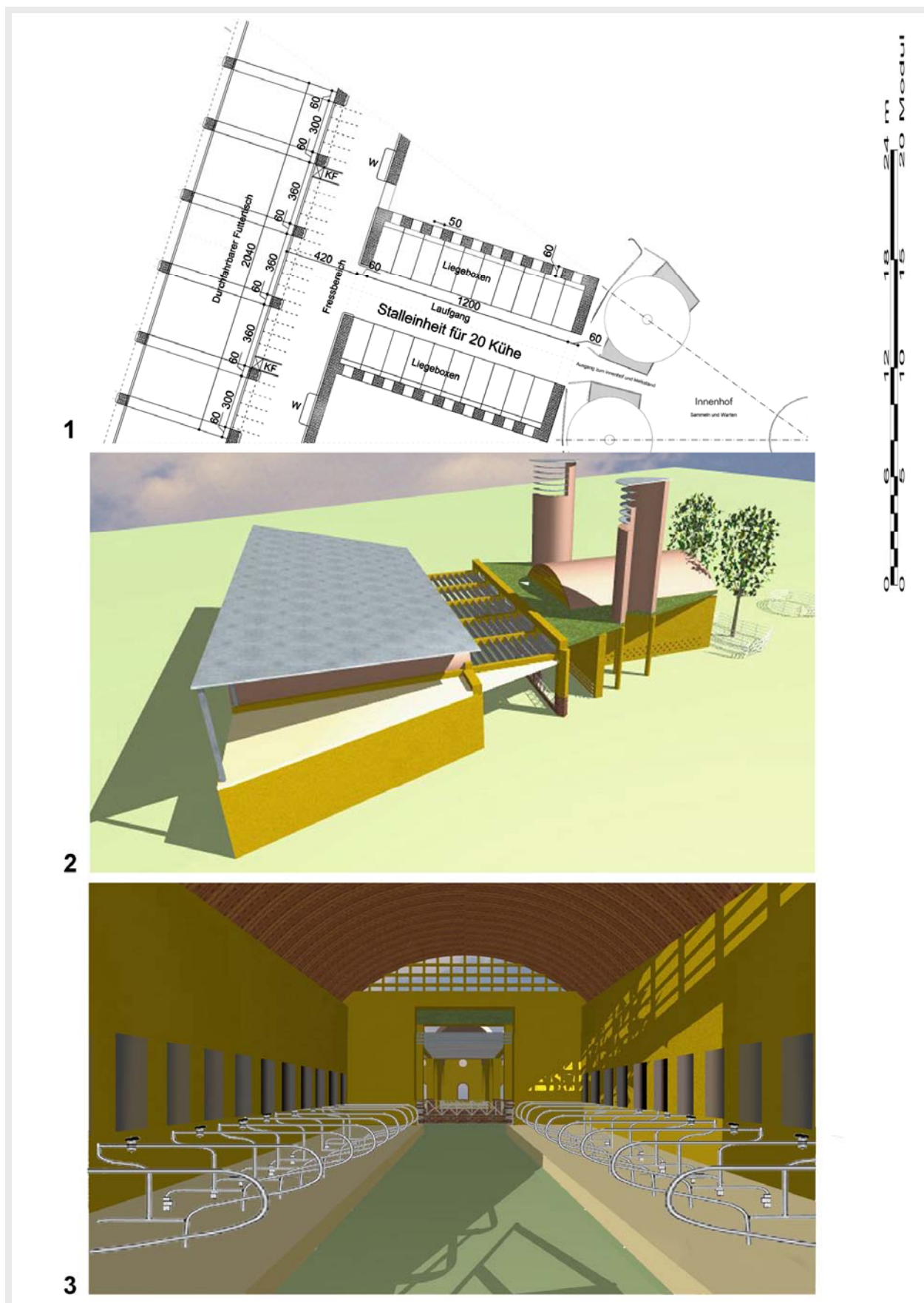


Abb. 7.13: Lösungsvorschlag (L_B): Halb geschlossener Stall

1 Grundriss der Stalleinheit, 2 Vogelperspektive, 3 Innenperspektive des Liegebereiches

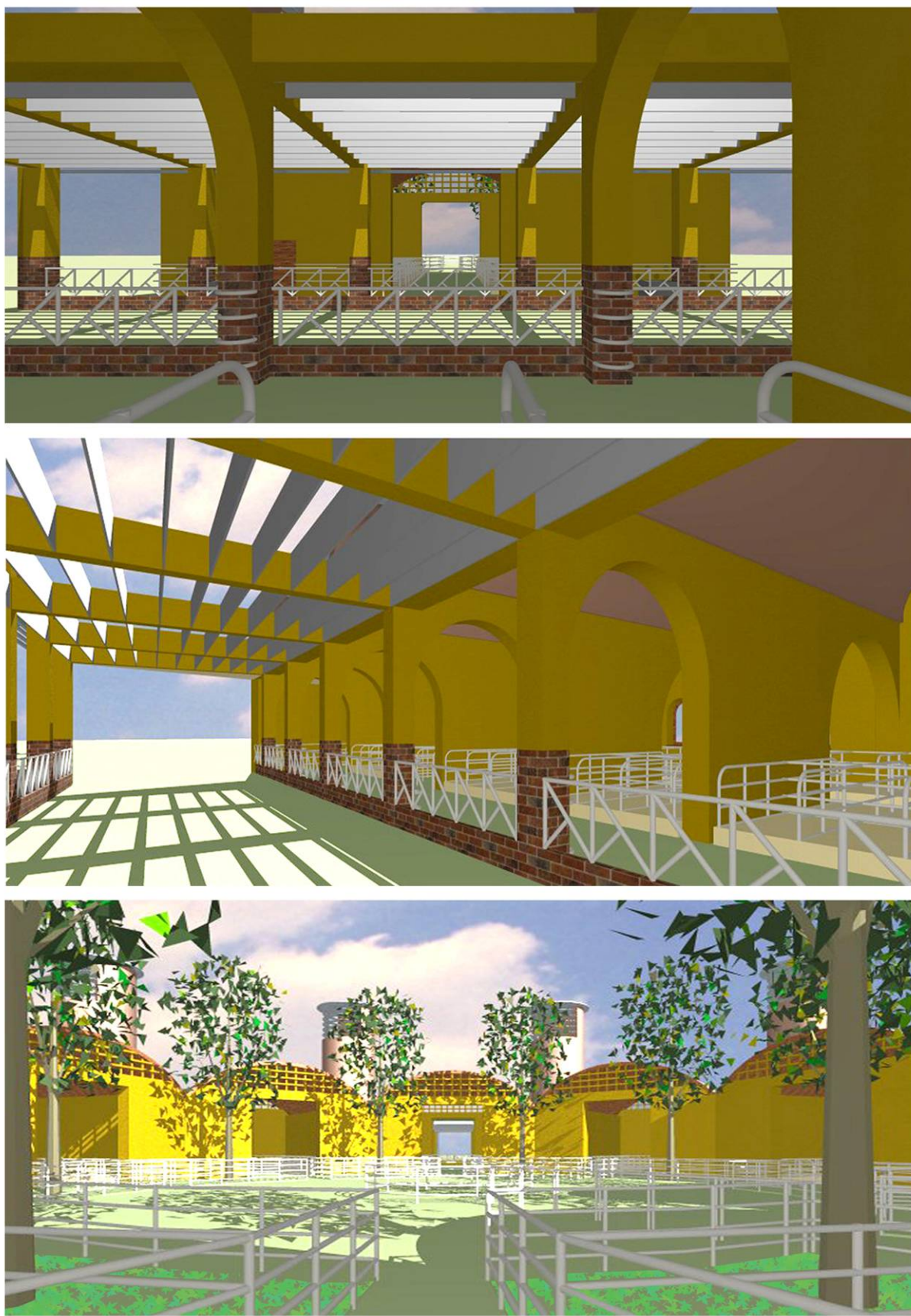
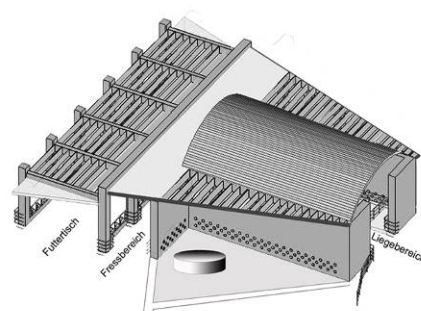
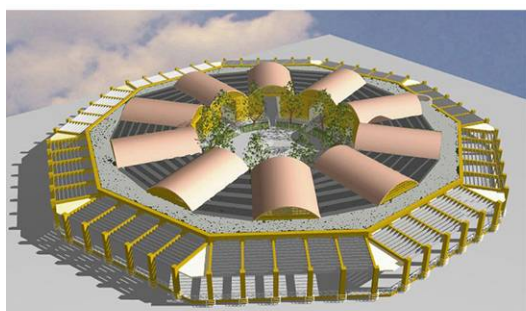
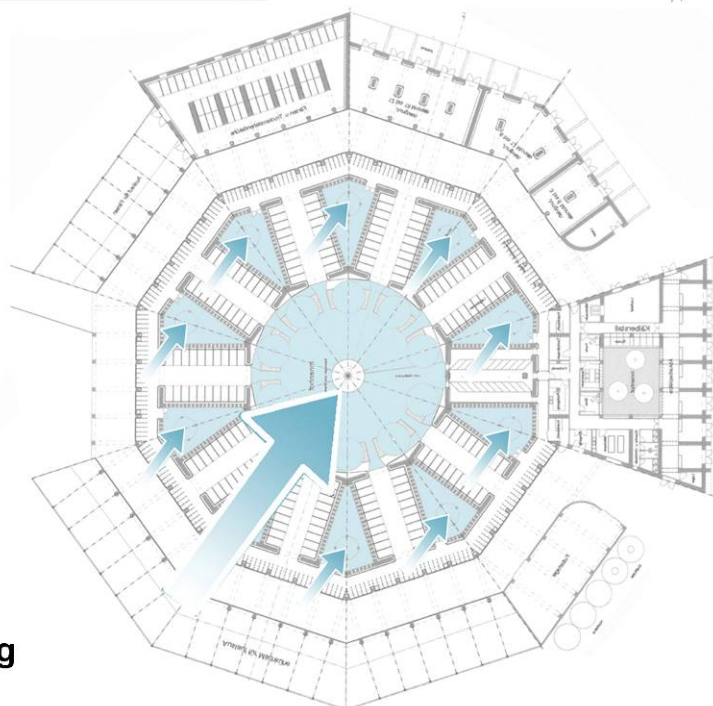


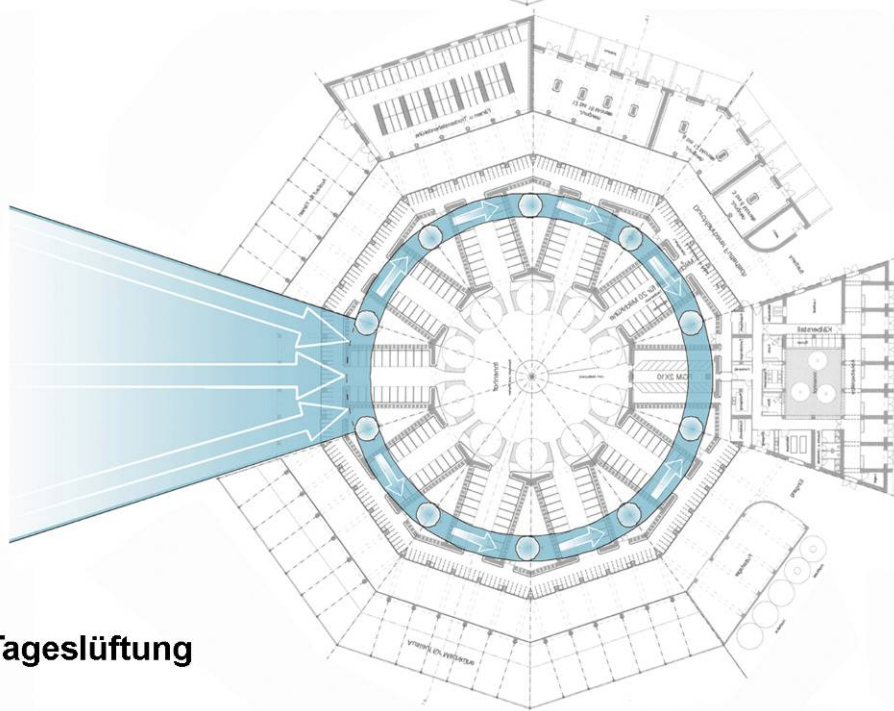
Abb. 7.14: Lösungsvorschlag (L_B): Halb geschlossener Stall
Innenperspektive



1



2 / Nachtlüftung



2 / Tageslüftung

Abb. 7.15: Lösungsvorschlag (L_B): Halb geschlossener Stall
1 Darstellungen zur Stallkonstruktion, 2 Lüftungsfunktion (Tag und Nacht)

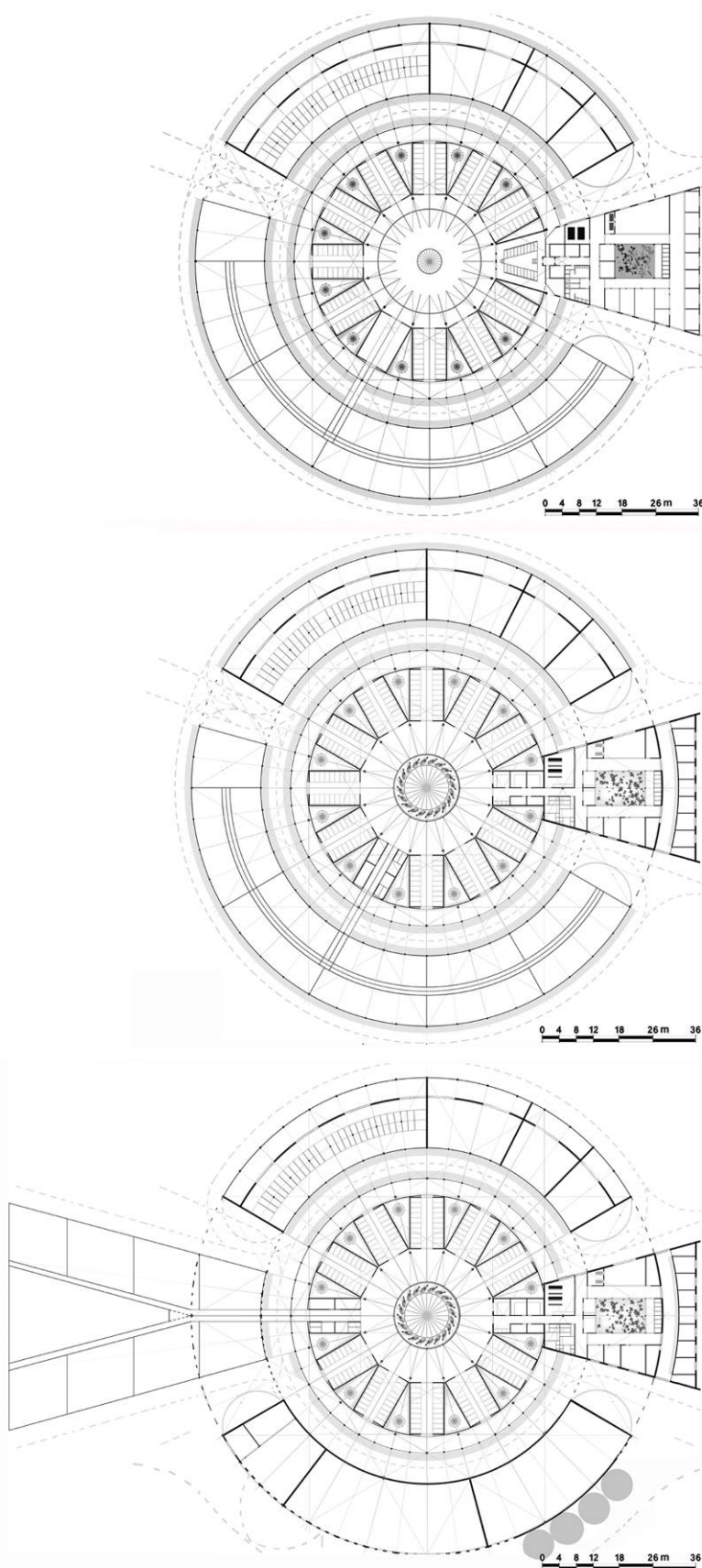


Abb. 7.16: Lösungsvorschlag (L_B): Halb geschlossener Stall
Weiterentwickelte Ideen

7.4.3 Lösungsvorschlag (L_C): Offenstall

Die beiden vorausgehenden Alternativen wurden mit traditionellen schweren Bauweisen für besondere Regionen und Klimate geplant. Die aktuelle vorgeschlagene Alternative könnte aus Bauzeit- und Kostengründen eine einfache Lösung darstellen.

Dafür kommen Bauvarianten in Form von leichten Skelettmontagebauten in Betracht, die sich aus überwiegend industriell vorgefertigten Bauelementen zusammensetzen lassen. Das Skelett muss stabil sein. Das Skelett wird für eine bestimmte Funktion durch die Ausfachung und den Innenausbau vervollständigt. Die einheitlichen Elemente und Skelettsegmente werden in großen Serien industriell vorgefertigt und von Spezialbetrieben montiert. Die Ausfachung und Verkleidung sowie der Innenausbau bestehen je nach dem Vorfertigungsgrad und den örtlichen Verhältnissen ebenfalls aus vorgefertigten Elementen oder auch aus örtlichen Baustoffen.

In diesem Lösungsvorschlag spielt die Dachgestaltung eine Hauptrolle, um die Tiere bei ungünstigem Wetter zu schützen. Bei extremem Wetter wird der Stallraum durch Berücksichtigung einiger baulicher Maßnahmen belüftet und gekühlt. Für diese Lösung werden zwei Möglichkeiten vorgeschlagen.

7.4.3.1 Erste Lösung (L_{C1}) (Abb. 7.17)

Die Idee basiert auf einer großen Überdachung aus leichtem Baumaterial für die gesamte Stallanlage als einfache Konstruktion. Für dieses Ziel wurde der Grundriss der Lösung (L_B) mit einigen Änderungen übernommen. Die Baukonstruktion wurde von massiver Lehmbauweise zum einfachen und leichten Bausystem geändert. Als Dach wurde hier ein kegelförmiges Membrandach mit einer Öffnung am höchsten Punkt benutzt, um die Abluft abzuleiten. Diese Baukonstruktion hat viele Vorteile und hat sich bei landwirtschaftlichen Gebäuden als positiv erwiesen.

Zum Schutz der Kühe vor extremer Sonnenstrahlung wurden zwei Dächer geplant. Das erste Dach ist ein Membrandach und beschattet die gesamte Stallanlage. Das zweite Dach ist ein gedämmtes Dach aus Beton (oder Blech) und bedeckt nur die Stalleinheiten (über den Kühen).

Zur Lüftung und Kühlung dieser Variante gibt es zwei Methoden, die vom Wetter abhängen.

1. Bei günstigem Wetter mit Außentemperaturen bis 24 °C ist die Lüftung der Stallanlage problemlos, da diese Alternative einem Offenstall entspricht.
2. Bei extremem Wetter - im Sommer - schützen die Dächer die Kühe gegen die Sonnenstrahlung. Die Stallkühlung erfolgt indirekt durch EWT. Die Luft wird durch Zuluftöffnungen eingeführt, durch unterirdische Kanäle gekühlt und danach in den Innenstall geführt. Die Abluft erfolgt durch eine Öffnung im Membrandach.

Die Fütterungs- und Mistungssysteme sind wie in der Lösung (L_B) geplant. Aber für das Melksystem wurde der Melkstand vom Fischgrätsystem zum Karussellsystem umgestellt, der in die Mitte gelegt wurde.

7.4.3.2 Zweite Lösung (L_{c2}) (Abb. 7.18)

Die zweite Alternative ist ein konventioneller Liegeboxenlaufstall. Die Anlage besteht aus 180 Kuhplätzen. Die Milchviehherde wurde nach Leistung in Gruppen zu separaten Einheiten getrennt und gehalten. Die vier angeordneten Stalleinheiten werden entlang eines Futtertisches geplant. Zwei Einheiten davon sind mit zwei Liegeboxenreihen geplant und werden an die östlichen Seiten des Stalles gelegt. Jede Einheit umfasst 40 Kühe. Die anderen Stalleinheiten sind mit drei Liegeboxenreihen geplant und liegen an der westlichen Seite, jede Einheit besteht aus 55 Kühen. Das gesamte Stallgebäude ist ca. 62 m lang und ca. 28 m breit. Das Melkhaus liegt an der Seite des dreireihigen Stalls mit den Dimensionen von 6 x 12 m. Jede Stallseite hat getrennte Lauf- und Fressbereiche an einem überfahrbaren Futtertisch.

■ Konstruktion

Die Stallkonstruktion bietet lediglich einen Sonnenschutz und ist deshalb ohne umschließende Wände. Sie besteht aus einer einfachen Stahlstützenkonstruktion und basiert auf einem Modular-System. Die Dachkonstruktion besteht an der östlichen Seite, wo es nur zwei Liegeboxenreihen gibt, aus einem zweischaligen, wärmegeprägten und geneigten Dach. An der westlichen Seite befindet sich ein begrüntes Dach. Für dieses Dachsystem wurde sich entschieden, damit die eingeführte Luft von der westlichen Seite sich nicht zu schnell erwärmt.

■ Lüftung und Kühlung

Für die Stalllüftung und -kühlung spielt die Stall- und Dachgestaltung eine große Rolle. Der Stall ist Nord-Süd-orientiert. Die Zulüftung erfolgt von der westlichen Seite, wo die Hauptwindrichtung liegt. Die Lüftung des westlichen Stallteiles, wo es drei Boxenreihen gibt, erfolgt direkt von der westlichen Seite. Für die östliche schmale Stallseite erfolgt die Zuluft durch Öffnungen nach Westen, die sich im Dach (über dem Futtertisch) befinden und nach Westen geöffnet sind. Die Abluft wird auf der geöffneten östlichen Seite abgeführt (Abb. 7.19, Abschnitt AA). Damit sich die Abluft des westlichen Teils nicht mit der frischen Zuluft des östlichen Teils vermischt, wurden zwei Lösungen für Abluftöffnungen vorgeschlagen:

- Gestaltung der Abluftöffnungen durch Orientierung des Stalldaches nach Osten (Abb. 7.19, Abschnitt BB -1) oder;
- durch eingerichtete Abluftkamine nach Osten über den Futtertisch (Abb. 7.19, Abschnitt BB - 2).

Damit sich die Zuluft für den östlichen Teil durch die Berührung mit der Außenoberfläche des westlichen Daches nicht mehr erwärmt, wurde das Dach des westlichen Stallteils begrünt (Abb. 7.19, Abschnitt AA).

Zur Kühlung der Zuluft wurde hier die adiabatische Kühlung verwendet. Die Zuluft wird durch bestimmte befeuchtete Materialien wie Hanf und Stoffe gekühlt und im Stall verteilt. Die Außenluftgeschwindigkeit erreicht im Sommer bis 8 m/s. Da sie nicht optimal für Kühe ist, wurde sie durch Bepflanzung reduziert. Nachteil dieser Variante ist der große Wasserverbrauch, deshalb müsste diese Lösung in der Nähe eines Wasservorkommens geplant werden.

■ Funktionen

Ein Futtertisch mit 6 m Breite wird in der Mitte geplant. Die Futterkrippen sind entlang des Futtertischs angeordnet. Die Beschickung mit frischem Grünfutter erfolgt durch Futterwagen direkt von den Anbauflächen. Das Kraftfutter wird in einer Abrufstation gegeben. Unter einem Überdach haben die Rinder einen Auslauf. Auch von hier aus können sie das Futter aufnehmen. Die Grundfuttergaben werden mit einem Futtermischwagen vorgelegt. Im Sommer (Morgen und Abend) wird überwiegend Weidegang auf den umliegenden Grünlandflächen betrieben.

Das Melken wird über einen Fischgrätenmelkstand vorgenommen. Der Melkstand und die Nebenräume wurden in die Mitte der westlichen Seite gelegt.

Für die Entmistung wurde ein Festmistverfahren gewählt. Die Laufgänge im Stall sind planbefestigt vorgesehen. Der Dung wird mit dem am Schlepper angebauten Schiebeschild aus den Ställen geschoben. Für diese mobile Entmistung werden die Dungstätten in Verlängerung der Schiebebahn geplant. Der anfallende Festmist wird für eine gezielte Humuswirtschaft im Ackerbau verwendet. Die anfallende Jauche wird in einen Hochbehälter gepumpt.

7.4.3.3 Weitere Überlegungen zur Dachgestaltung (Abb. 7.20)

Für den gleichen Grundriss des konventionellen Liegeboxenlaufstalles (L_{C2}) mit derselben Stahlkonstruktion wurden verschiedene Möglichkeiten der Dachgestaltung für die Lüftung des Stalles vorgeschlagen. Hier wird der Grundriss des Stalles um 90° gedreht, damit er die Richtung Ost-West haben kann. Die Zulüftung des gesamten Stalls erfolgt über die westliche Seite und durch mehrere kleine Dachöffnungen (Schlitze) nach Westen. Zur Dachgestaltung gibt es verschiedene Lösungsmöglichkeiten. Zur Kühlung und Dämmung des Dachs wurden Verdunstungskühlung und Dachbegünung benutzt.

Alle Varianten der Dachgestaltung wurden durch praktische Versuche im farbigen Wasserbad mit verschiedenen Modellen der vorgeschlagenen Ideen ausgeführt. Diese Versuchsreihe wurde im Institut für Agrartechnologie der FAL durchgeführt.

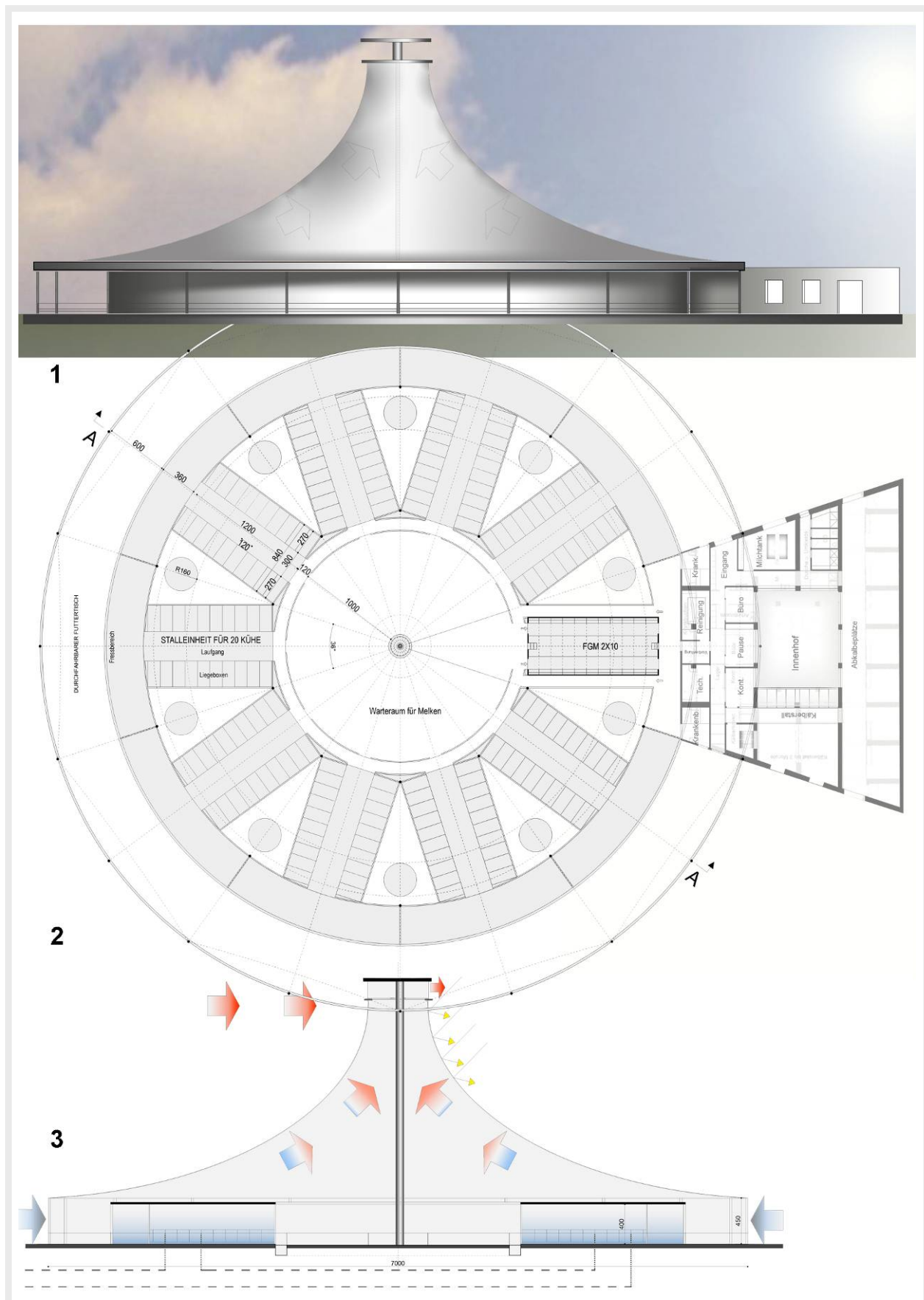


Abb. 7.17: Lösungsvorschlag (L_{C1}): Offenstall

1 Ansicht, 2 Grundriss des Stallgebäudes, 3 Abschnitt mit Lüftungsfunktion

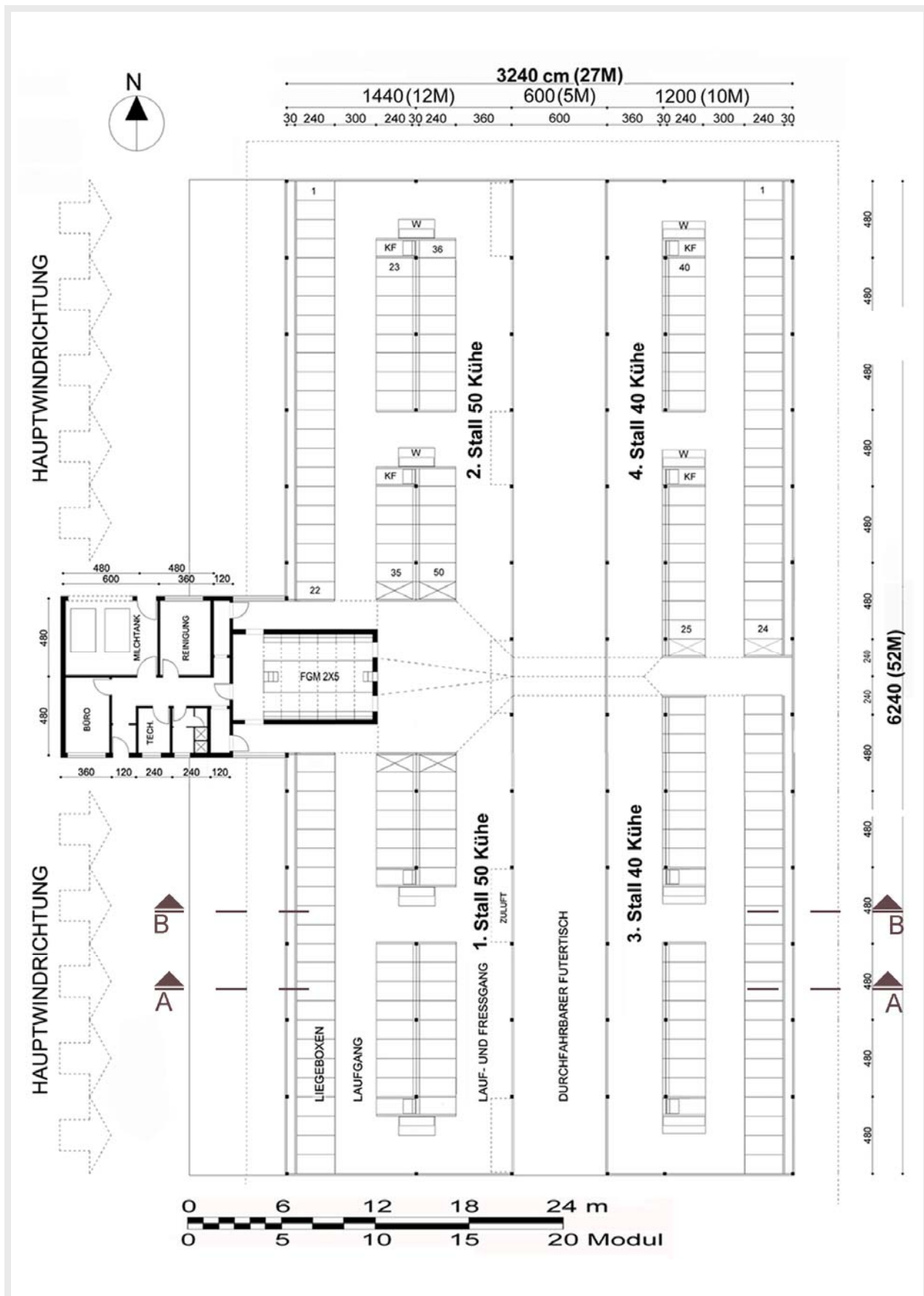
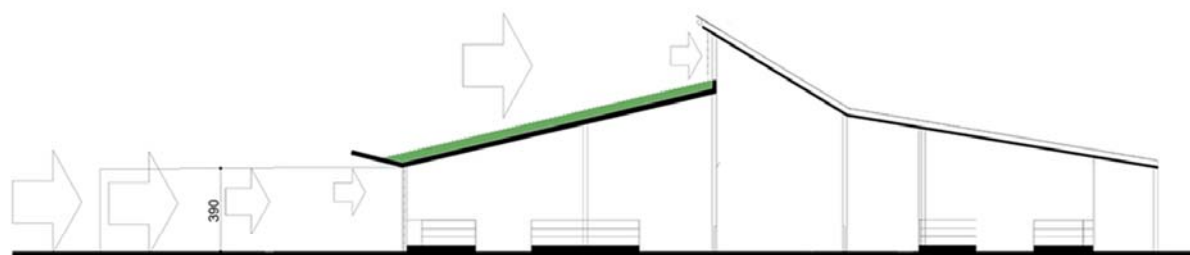
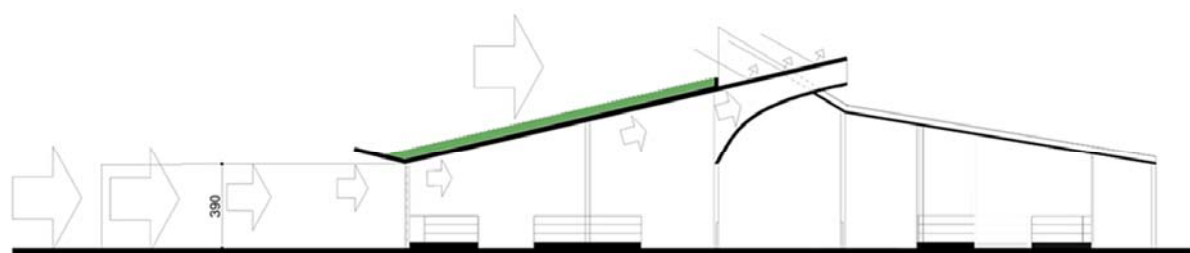


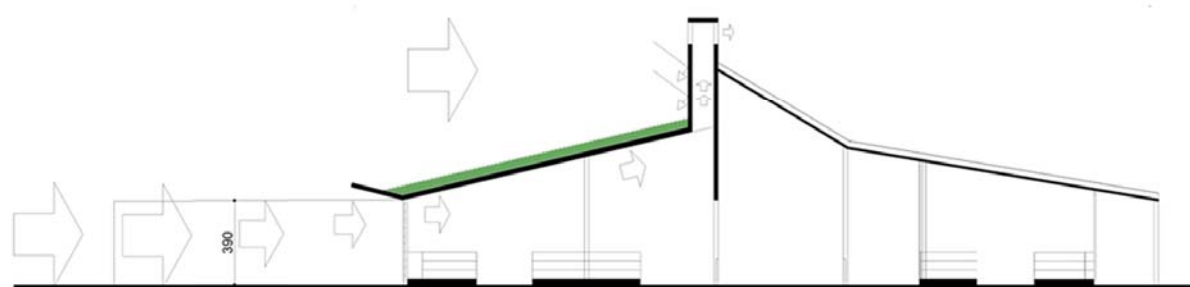
Abb. 7.18: Lösungsvorschlag (L_{C2}): Offenstall
Grundriss des Stallgebäudes



Abschnitt AA



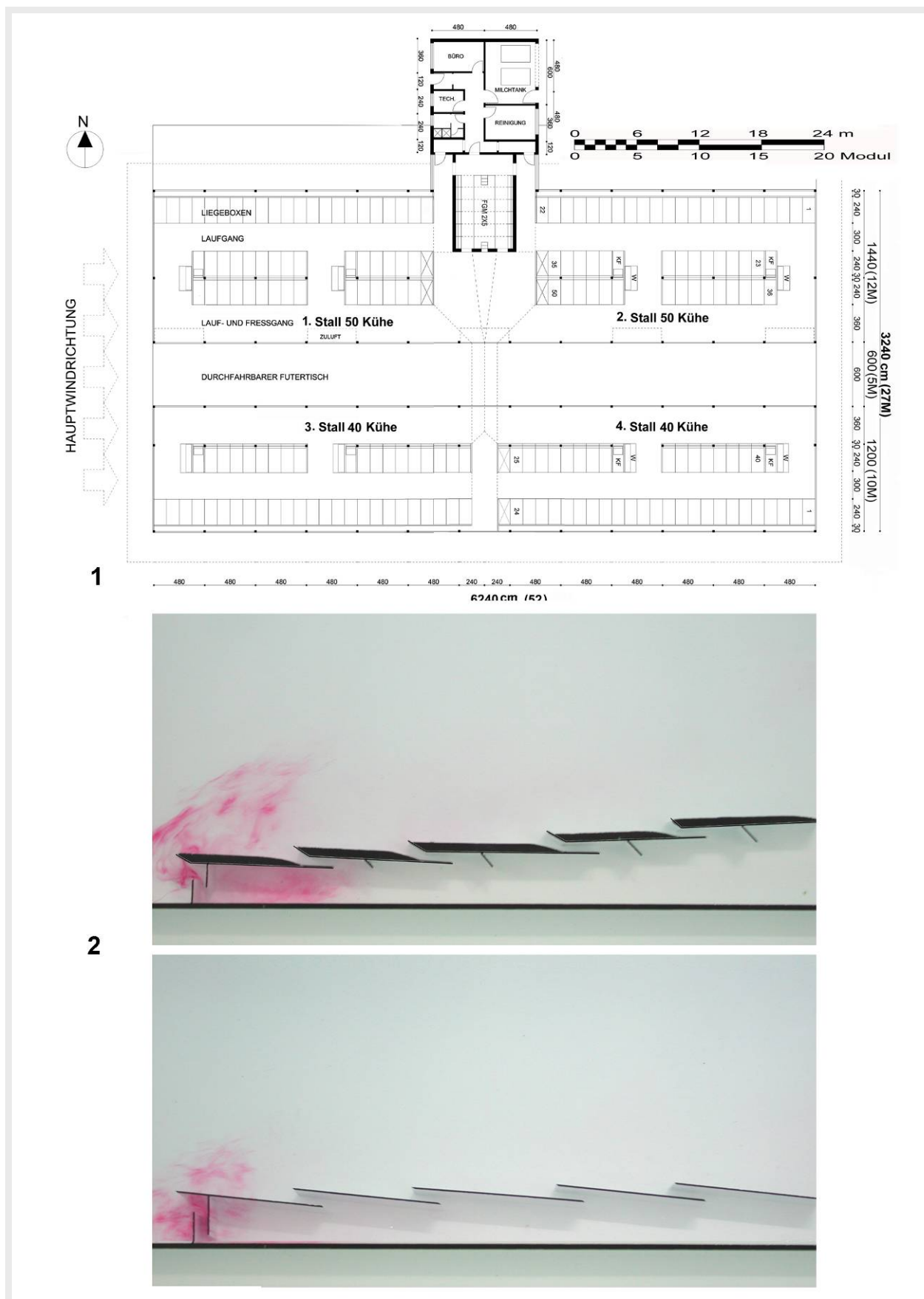
Abschnitt BB (1)



Abschnitt BB (2)



Abb. 7.19: Lösungsvorschlag (LC2): Offenstall
Alternativen zur Dachgestaltung für die Stalllüftung

**Abb. 7.20:** Lösungsvorschlag (L_{C2}): Offenstall

1 Grundriss, 2 Praktische Versuchsausführung für Dachgestaltung und Lüftung

7.5 Lüftungsberechnungen

7.5.1 Grundlagen, Empfehlungen und Richtwerte

7.5.1.1 Wärmeabgabe der Kühe und Luftvolumenstrom

Die absoluten Ober- und Untergrenzen der Luftvolumenströme sind sowohl von der Tierhygiene als auch von der Bauphysik abhängig. Orientierungswerte und Berechnungsschemata für die Sommer- und Winterlüftung sind nachfolgend beispielhaft dargestellt:

A. Der Sommerluftvolumenstrom wird nach der Wärmeproduktion der Tiere berechnet und ist in der Regel fünf- bis sechsmal so groß wie der Mindestluftvolumenstrom im Winter. Für die Kühe werden die Wärmeproduktion und der Mindestsommerluftvolumenstrom nach den Gleichungen 1 bis 6 ermittelt (CIGR, 1984).

- **Gesamtwärmeproduktion Q_{tot20} [W] bei 20 °C**

$$Q_{tot20} = 5,6 \times m^{0,75} + 22 \times Y + 1,6 \times 10^{-5} \times p^3 \quad \dots\dots\dots(7.01)$$

M	Lebendmasse	[kg]
Y	Milchleistung	[kg/d]
p	Trächtigkeitsdauer	[Tag]

- **Gesamtwärmeproduktion Q_{tot30} bei 30 °C (Temperaturkorrekturfaktor F)**

$$F = 4 \times 10^{-5} (20 - T)^3 \quad \dots\dots\dots(7.02)$$

T	Temperatur	[°C]
---	------------	------

$$Q_{tot30} = F \times Q_{tot20} \quad \dots\dots\dots(7.03)$$

- **Sensible Wärme $Q_{ST,S}$ [W]**

$$Q_{ST,S} = Q_{tot20} \left[0,8 - 1,85 \times 10^{-7} (T + 10)^4 \right] \quad \dots\dots\dots(7.04)$$

Q_{tot20}	Gesamtwärmeproduktion bei 20 °C	[W]
T	Temperatur	[°C]

▪ **Berechnung des Luftmassenstroms:** Die Abgabe sensibler Wärme der Tiere nimmt mit steigender Umgebungstemperatur ab und die Wasserdampfabgabe der Tiere nimmt zu. Der Luftmassenstrom muss dementsprechend aus der Wärmestrom- und Wasserdampfbilanz ermittelt werden. Der größere der Luftmassenströme ist als Luftmassenstrom im Sommer zu benutzen. Eine vereinfachte Berechnung der Luftmassenströme über die Wärmestrombilanz kann vorgenommen werden, wenn zur Abführung der Wärme von einer Temperatur von 30 °C ausgegangen wird und die zulässige Erhöhung der Temperatur der Stallluft über die Außentemperatur angesetzt wird.

$$\dot{m}_{L,S} = \frac{r \times \sum \dot{\Phi}_{ST,S} - \dot{\Phi}_{Boden}}{\Delta\Theta_{zul} \times C_{pL}} \quad \dots\dots\dots(7.05) \text{ (AEL, 2007)}$$

$\dot{m}_{L,S}$	Massenstrom der Luft im Sommer	[kg/h]
r	Korrekturfaktor für den Anteil sensibler Wäre, der je nach Haltungsform und Futterkonsistenz durch Verdunstung in latente Wärme umgewandelt wird. Der Faktor ist für Rinder mit 0.9 für sehr trocken, 0.85 für trocken und 0,8 für feucht.	
$\sum \dot{\Phi}_{ST,S}$	Strom sensibler Wärme im Sommer für gesamten Stall bei einer Lufttemperatur von 30 °C	[W]
$\sum \dot{\Phi}$	Strom sensibler Wärme durch die Bodenplatte	
$\Delta\Theta_{zul}$	Zulässige Temperaturdifferenz zwischen Stall- und Außenluft	[K]
c_{pL}	Spezifische Wärmekapazität der Luft (=0,28)	[Wh/kgK]

- **Berechnung des Luftvolumenstroms:** Zur Bemessung der Stalllüftungseinrichtungen lassen sich die ermittelten Luftmassenströme in Luftvolumenströme umrechnen.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_L}{\rho} \dots\dots\dots(7.06) \text{ (Ldw. Kammer Hannover, 1983)}$$

\dot{V}_L	Volumenstrom der Luft in	[m³/h]
\dot{m}_L	Massenstrom der Luft in	[kg/h]
ρ	Dichte der Luft in	[kg/m³]

B. Der Mindestluftvolumenstrom wird im Winter nach dem Kohlendioxid- bzw. Wasserdampfmaßstab festgelegt. Für einfache Lüftungsberechnungen können folgende Formeln nach DIN 18910 verwendet werden.

□ **Wasserdampfmaßstab**

$$V = \frac{X_{Ti}}{X_i - X_e} \dots\dots\dots(7.07) \text{ (RICHTER, 1992)}$$

V	Lüftungsvolumen je Tier	[m³/h]
X_{Ti}	Wasserdampfabgabe je Tier und anteilige Verdunstung von feuchten Flächen	[g/h]
X_i	absoluter Wassergehalt der Stallluft	[g/m³]
X_e	absoluter Wassergehalt der Außenluft	[g/m³]

□ **Kohlendioxidmaßstab**

$$V = \frac{C_{Ti}}{C_i - C_e} \dots\dots\dots(7.08) \text{ (RICHTER, 1992)}$$

V	Lüftungsvolumen je Tier	[m³/h]
C_{Ti}	Kohlendioxidabgabe je Tier	[g/h]
C_i	zulässige Konzentration des Kohlendioxids in der Stallluft	[g/m³]
C_e	mittlere Konzentration des Kohlendioxids in der Außenluft (0,54 g/m³ im Winter)	[g/m³]

Die Richtwerte des stündlichen Gesamtwasserdampfanfalls und der Kohlendioxidabgabe der Rinder befinden sich im Anhang (1) in der Tabelle A1.22 (S. 256).

7.5.1.2 Lüftungsrate nach verschiedener Literatur

- Die Sommerluftraten werden theoretisch nach dem Ausmaß einer zulässigen Temperaturerhöhung im Stall gegenüber der Lufttemperatur im Freien berechnet. Bei einer Anhebung von nur 1 °C würden pro GVE etwa 1000 m³/h Außenluft benötigt. Empfohlen werden können Sommerluftraten, die einer rechnerischen Temperaturerhöhung von 2 bis 3 °C entsprechen 330-500 m³/GVE (BARTUSSEK et al., 2008).
- Der Mindestsommerluftvolumenstrom für Kühe mit 700 kg LG und einer Milchleistung von 5000 kg/Jahr ist 375 m³/h. Für Kühe mit gleichem Lebendgewicht und einer Milchleistung von 10 000 kg/Jahr beträgt der Mindestsommerluftvolumenstrom ca. 470 m³/h (Tab. 7.02).
- Zur Abfuhr der Wärme werden notwendige Sommerluftraten je Tier bei einer Außentemperatur von 30 °C errechnet. Die zulässige Stalltemperatur sollte dabei 33 °C nicht überschreiten. Für eine Hochleistungskuh bedeutet das eine notwendige durchschnittliche Luftrate von 480 m³/Kuh und Stunde. Bei diesen Temperaturen tritt aber bereits erheblicher Hitzestress auf (DIN 18910, 2004). Für frei gelüftete Ställe lassen sich im Sommer Luftraten aus den Angaben der CIGR (1984) ableiten (Tab. 7.02).

Tab. 7.02: Sommerluftraten und Luftvolumenströme (CIGR 1984 (In: SMUL, 2008))

Luftraten für Hochleistungskühe mit 700 kg/LM			Luftvolumenströme in m ³ /h im Sommer *					
	Milchleistung	Durchschnitt	Milchleist.	500	550	600	650	700
	[kg]	[m ³ /h]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Mindestluftrate [m ³ /h]	10 000	136	5000	319	334	348	365	375
Sommerluftrate [m ³ /h]	5000 (DIN)	366	6000	335	351	365	383	394
30 °C, Δt = 3 [K]	10 000	477	7000	351	367	382	401	413
	12 000	521	8000	367	384	400	419	431
	14 000	262	9000	383	401	417	437	450
22 °C, Δt = 3 [K]	10 000	890	10 000	399	417	435	456	469

*) Luftvolumenströme für Kühe in Abhängigkeit von der Milchleistung und der Lebendmasse bei einer zulässigen Erhöhung der Stalltemperatur gegenüber der Außentemperatur von 3 Kelvin

- Im Mastrindstall beträgt im Sommer der Luftwechsel n (1/h) 10,6 (FAL, 1969).
- Die kleinste Luftrate (für den Winter) ergibt sich aus der Berechnung nach dem Wasserdampf- bzw. Kohlendioxidmaßstab. Die mittlere Luftrate (für die Übergangszeiten in Herbst und Frühjahr) ergibt sich aus der Berechnung nach dem Wärmemaßstab unter folgenden Annahmen: t_i = 15 °C und Luftfeuchte von 85 %. Die höchste Luftrate (im Sommer) sollte, um Wärmestauungen im Tierkörper zu verhindern, doppelt so groß wie die mittlere Luftrate sein.
- Van Caenegem (1994A) hat die Lüftungsrate im Sommer nach Wasserdampf (H₂O), Gas (CO₂) und Energiebilanz berechnet und festgestellt, dass die Lüftungsrate nach der Energiebilanz die Lüftmenge ist, welche nötig ist, damit die angegebene Stalltemperatur nicht überschritten wird. Sie folgt direkt aus der Energiebilanz, in welcher auch die Wärmeindringung durch die Sonnenstrahlung (Dach oder Decke) mit berücksichtigt wird. Die größere der Luftraten ist maßgebend für die Dimensionierung der Ab- und Zuluftöffnungen.

Bei einer Außentemperatur von 30 °C (relative Feuchtigkeit 50 %) sind im Beispiel 3300 m³/h nötig, damit die Stalltemperatur 31,5 °C nicht übersteigt (Lufrate nach Energiebilanz, Abb. 7.21). Dagegen erfordert die Einhaltung der erwünschten relativen Feuchtigkeit (60 %) bei der gleichen Stalltemperatur 7000 m³/h (Lüftungsrate nach H₂O-Bilanz). Die minimale Frischluftmenge (CO₂-Konzentration 3000 ppm) beträgt lediglich 1850 m³/h.

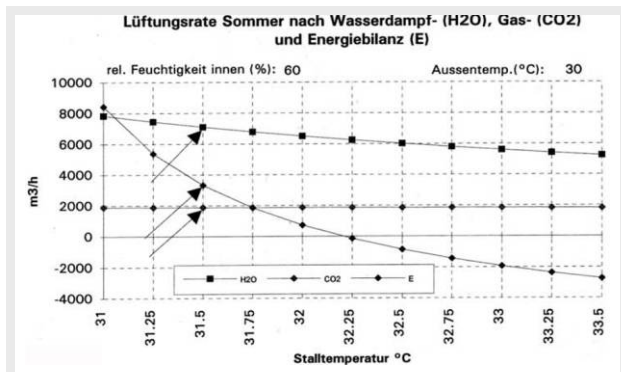


Abb. 7.21: Die Lüftungsrate im Sommer soll gleichzeitig den Wasserdampf abführen, den Hitzestau und zu hohe CO₂-Konzentrationen verhindern (VAN CAENEGEM, 1994A)

7.5.1.3 Luftgeschwindigkeit und Kühlwirkung

Nach DIN 18910 sollte die Luftgeschwindigkeit als Höchstwert im Tierbereich bei 0,2 m/s, bei hohen Temperaturen bei 0,6 m/s liegen. Aber zur Reduzierung der Stalltemperatur wurde durch einige Quellen festgestellt, dass die Luftgeschwindigkeit eine große Rolle dabei spielt.

- HEIDENREICH (2002A) macht die kritische Windgeschwindigkeit von der Lebendmasse und der Milchleistung der Tiere abhängig und schwankt zwischen 1,7 und 2,5 m/s. Zudem braucht die Kuh ein akzeptables Verhältnis von Temperatur und relativer Luftfeuchte, denn bei hohen Temperaturen sind hohe Luftfeuchtigkeiten schlechter auszuhalten als bei niedrigeren Temperaturen.
- Im CIGR-Report (1986) wurde genannt, dass die Luftgeschwindigkeit im Tierbereich von 0,3 m/s bis 1,3 m/s sein muss, im Extremfall erhöht sie sich bis auf 2,5 m/s. Bei 1,3 m/s beträgt die Kühlwirkung 3,3 K und bei 2,5 m/s 5,6 K.
- Die Zuluft sollte mit einer konstanten Geschwindigkeit von 2 - 2,5 m/s durch die Zuluftöffnungen eintreten, um eine kontrollierbare Durchströmung des Stalles zu erreichen. Bei Änderung der Luftmenge muss der Querschnitt der Einströmöffnung so eingestellt werden, dass die genannte Luftgeschwindigkeit erhalten bleibt.
- Gegen den Hitzestress an heißen Tagen werden Lüftungsanlagen betrieben, die Luftgeschwindigkeiten von 1,0 bis 2,5 m/s und bis 5,0 m/s aufweisen (HERKNER, 2002).
- Zusammen mit der erhöhten Luftströmung durch die Unterstützungslüftung wird eine beachtliche Abkühlungswirkung erzielt (BARNWELL, 2002) (Tab. 7.03).

Tab. 7.03: Kühlwirkung der Luft durch Nutzung der Verdunstungskälte (BARNWELL, 2002 (In: BÜSCHER, 2004A); BARNWELL, 1997 (In: HEIDENREICH, 2006))

Temperatur [°C]	25		30		35	
rel. Feuchte [%]	50	70	50	70	50	70
Luftgeschwindigkeit [m/s]	Kühlwirkung [K]					
0,00	0,00	-1,60	0,00	-2,20	0,00	-3,30
0,50	1,10	-0,50	2,80	-0,60	2,80	-0,50
1,00	2,80	0,60	5,00	2,20	8,40	4,50
1,50	3,90	1,70	6,60	3,90	10,60	6,20
2,00	6,20	3,90	8,30	5,00	11,70	8,90
2,50	7,30	5,10	9,40	6,10	12,80	10,60

7.5.1.4 Zuluftöffnungen

Die wesentliche Voraussetzung für eine richtige Funktion der freien Lüftung ist die richtige Dimensionierung der Zu- und Abluftöffnungen. Die Aufgabe der Zuluftöffnungen besteht darin, die Frischluft möglichst gleichmäßig in den Tierbereich zu bringen, ohne Zuglufterscheinungen zu erzeugen. Deshalb ist eine gleichmäßige Aufteilung der Öffnungen in den Seitenwänden bzw. im Deckenbereich erforderlich. Aufgrund praktischer Erfahrungen für die Steuerung der Lüftungstechnischen Einrichtung werden beispielhaft einige Literaturquellen angegeben.

MÜLLER (1997) hat die Querschnitte der Zuluftöffnung für unterschiedliche Tierarten und Gebäude errechnet. Die Zuluftflächen sollten für 1 m/s Windgeschwindigkeit ausgelegt sein. Die so ermittelten Öffnungsflächen müssen durch Klappen, Schieber oder ähnliche Einrichtungen veränderbar sein, wenn eine Steuerung des Stallklimas im Jahresverlauf bei sich ändernder Tierbelegung erreicht werden soll (s. Anhang (1), Abb. A1.22 und A1.23 (S. 260)). MÜLLER hat auch in 1992 eine Darstellung zum Verstellen der Lüftungsöffnungen vorgestellt (Abb. 7.22).

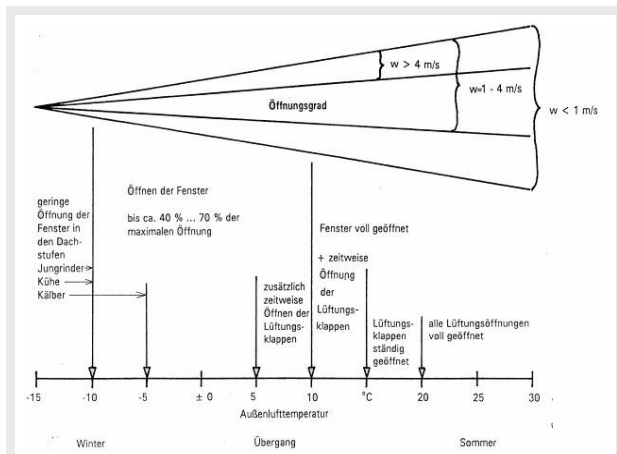


Abb. 7.22: Regelschema zum Verstellen der Lüftungsöffnungen in einem großflächigen Stallgebäude (MÜLLER, WEGHE, 1992)

Einige Daten zur Sommerlufrate werden nach Richter (1992) in der Tabelle 7.04 genannt.

Tab. 7.04: Lüftungsfläche für freie Lüftung im Sommer in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (RICHTER, 1992) * Adaptiert

Angestrebte Sommerlufrate	[m ³ /Tie]		20	40	60	80	100	140	180	220	260	600
Erforderliche Lüftungsfläche in m ² je Tierplatz je nach Windgeschwindigkeit V _w	[m/s]	0,5	0,04	0,07	0,11	0,15	0,18	0,26	0,33	0,4	0,45	
		1	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,13	0,17	0,2	0,24	
		2	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,3*
		3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	

7.5.2 Berechnungsverfahren

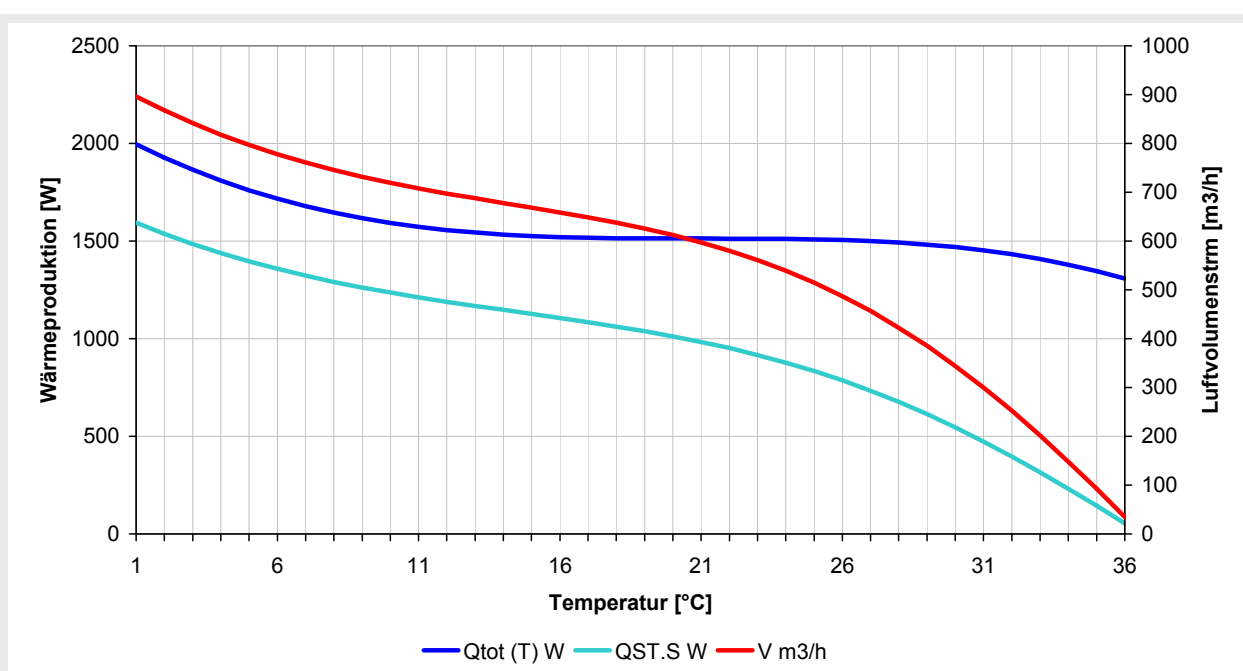
7.5.2.1 Wärmeproduktion und Sommerluftvolumenstrom

Die Wärmeproduktion der Kühe und der benötigte Sommerluftvolumenstrom wurden nach den Gleichungen 7.01 – 7.06 berechnet und die Ergebnisse in die Tabelle 7.05 eingefügt und in der Abbildung 7.23 dargestellt. Die Berechnungen wurden mit folgenden Angaben gemacht:

m: Lebendmasse = 500 kg (entspricht 1 GVE), *Y*: Milchleistung = 25 kg/d, *P*: Trächtigkeitsdauer = 285 Tage, *T*: Außentemperatur = 0 - 35 °C.

Tab. 7.05: Gesamtwärmeproduktion (Q_{tot}), Sensible Wärme ($Q_{\text{ST.S}}$) und sommerliche Luftvolumenströme (m^3/h) (bearb. nach Gleichungen 7.1 - 7.6)

m	Y	P	$Q_{\text{tot}20}$	T	F	$Q_{\text{tot}} (T)$	$Q_{\text{ST.S}}$	c_{pL}	Δt_{zul}	$m_{L.S}$	ρ	V
[kg]	[kg/Tag]	[Tag]	[W]	[°C]		[W]	[W]	[Wh/kgK]	[K]	[kg/h]	[kg/m ³]	[m ³ /h]
500	25	285	1513	0	1,32	1997	1594	0,28	5	1138	1,27	896
500	25	285	1513	1	1,27	1927	1537	0,28	5	1098	1,27	868
500	25	285	1513	2	1,23	1865	1485	0,28	5	1061	1,26	842
500	25	285	1513	3	1,20	1810	1438	0,28	5	1027	1,26	818
500	25	285	1513	4	1,16	1760	1396	0,28	5	997	1,25	797
500	25	285	1513	5	1,14	1717	1357	0,28	5	969	1,25	778
500	25	285	1513	6	1,11	1679	1322	0,28	5	945	1,24	761
500	25	285	1513	7	1,09	1645	1291	0,28	5	922	1,24	745
500	25	285	1513	8	1,07	1617	1262	0,28	5	902	1,23	732
500	25	285	1513	9	1,05	1593	1236	0,28	5	883	1,23	719
500	25	285	1513	10	1,04	1573	1212	0,28	5	866	1,22	708
500	25	285	1513	11	1,03	1557	1189	0,28	5	849	1,22	697
500	25	285	1513	12	1,02	1543	1168	0,28	5	834	1,21	687
500	25	285	1513	13	1,01	1533	1147	0,28	5	819	1,21	678
500	25	285	1513	14	1,01	1526	1127	0,28	5	805	1,20	668
500	25	285	1513	15	1,01	1520	1106	0,28	5	790	1,20	659
500	25	285	1513	16	1,00	1516	1085	0,28	5	775	1,19	649
500	25	285	1513	17	1,00	1514	1062	0,28	5	759	1,19	638
500	25	285	1513	18	1,00	1513	1038	0,28	5	742	1,19	626
500	25	285	1513	19	1,00	1513	1012	0,28	5	723	1,18	612
500	25	285	1513	20	1,00	1513	983	0,28	5	702	1,18	597
500	25	285	1513	21	1,00	1512	952	0,28	5	680	1,17	580
500	25	285	1513	22	1,00	1512	916	0,28	5	655	1,17	561
500	25	285	1513	23	1,00	1511	877	0,28	5	627	1,16	539
500	25	285	1513	24	1,00	1509	834	0,28	5	596	1,16	515
500	25	285	1513	25	1,00	1505	786	0,28	5	562	1,15	487
500	25	285	1513	26	0,99	1499	734	0,28	5	524	1,15	457
500	25	285	1513	27	0,99	1492	676	0,28	5	483	1,14	423
500	25	285	1513	28	0,98	1482	614	0,28	5	438	1,14	385
500	25	285	1513	29	0,97	1468	546	0,28	5	390	1,13	344
500	25	285	1513	30	0,96	1452	474	0,28	5	339	1,13	300
500	25	285	1513	31	0,95	1432	397	0,28	5	284	1,12	252
500	25	285	1513	32	0,93	1408	316	0,28	5	226	1,12	202
500	25	285	1513	33	0,91	1380	231	0,28	5	165	1,11	148
500	25	285	1513	34	0,89	1347	144	0,28	5	103	1,11	92
500	25	285	1513	35	0,87	1308	54	0,28	5	39	1,11	35



7.5.2.2 Berechnung der Stallflächen und Volumen

■ Lösungsvorschlag (L_A): Geschlossener Stall

■ Stallfläche

Die Stalleinheit umfasst 45 Milchkühe mit 700 kg LG pro Kuh. Der Grundriss der Stalleinheit wurde nach dem modularem System und bestimmten Flächen für Kühe entworfen. Der Grundriss ist quadratisch mit den Dimensionen von 21,6 x 21,6 m (Modul: 18 x 18 M). In jeder Stalleinheit befindet sich ein zentraler quadratischer Innenhof mit 9,6 x 9,6 m (Modul: 8 x 8 M) und er dient als Kühlraum. Er wird nicht als Lauffläche für die Kühe benutzt. Deshalb wird der Innenhof nicht mit dem Grundriss berechnet, sondern nur mit dem Stallvolumen. Auch wird ein Teil von dem Luftverteilungsraum, der sich unter dem Innenhof befindet, in den Stallraum mit eingerechnet.

Gesamte Fläche der Stalleinheit (A ₀)	: 21,6 x 21,6 = 466,56	m ²
Innenhoffläche (A ₂)	: 9,6 x 9,6 = 92,16	m ²
Benutzte Stallfläche der Kühe (A ₁)	: A ₀ – A ₂ = 466,56 – 92,16 = 374,4 ≈ 375	m ²
Flächenbedarf für jede Kuh	: 374,4 ÷ 45 = 8,3	m ² /Kuh

■ Stallvolumen

Der Entwurf für den Stalkörper und für den Stallinnenraum basiert in erster Linie auf dem Raumbedarf pro Kuh und der Luftwechselrate des gesamten Stalls. Für den umbauten Raum müssen in heißen Klimaregionen mindestens 40 m³/Kuh gerechnet werden. Für die Luftwechselrate werden nach der FAL (1969) ca. 10 h⁻¹ angegeben.

Weil diese Lösung ein kompaktes und geschlossenes System ist, wurde genügend Luftraum für die Kühe veranschlagt. Die durchschnittliche Stallhöhe ist mit ca. 6 m einzuplanen. Mit einer Dachneigung von ca. 20° sind die Innenhofhöhe und die Traufe mit 4,8 (Modul: 4 M) bis zum First mit 7,2 m (Modul: 6 M) geplant.

Raumvolumen ohne Innenhof (A ₁)	: 374,4 x 6 = 2246,4	m ³
Raumvolumen des Innenhof (A ₂)	: 92,16 x 4,8 = 442,36	m ³
Raumvolumen des gesamten Stallraums (A ₀)	: 2246,4 x 552,96 = 2688,76 ≈ 2700	m ³
Luftbedarf für jede Kuh	: 2700 ÷ 45 = 60	m ³ /Kuh

■ Lösungsvorschlag (L_B): Halb geschlossener Stall

■ Stallfläche

Die Stalleinheit umfasst 20 Milchkühe mit zwei getrennten Funktionen. Der Liege- und Ruhefunktion wurde in einen separaten Raum mit 12 x 8,4 (Modul: 10 x 7 M) und Fress- und Laufgang mit 20 x 4,20 m geplant.

Flächenbedarf des Liegeraums (A ₁)	: 12 x 8,4 = 100,8	m ²
Fress- und Laufgang (A ₂)	: 20 x 4,2 = 84	m ²
Benutzte Stallfläche der Kühe (A ₀)	: A ₁ – A ₂ = 100,8 – 84 = 184,8 ≈ 185	m ²
Flächenbedarf für jede Kuh	: 185 ÷ 20 = 9,25	m ² /Kuh

■ Stallvolumen

Die Stalleinheit hat verschiedene Dachhöhen. Beim Liegebereich wird das Dach mit einem gebogenen System geplant, sein höchster Punkt ist mit 7,2 m und der tiefste Punkt ist mit der gleichen Höhe des Fressgangs mit 6 m geplant. Die durchschnittliche Stallhöhe ist mit ca. 6,5 m berechnet.

Raumvolumen des Liegebereiches (A1)	: $100 \times 6,5 = 650$	m^3
Raumvolumen des Fressbereiches (A2)	: $84,4 \times 6,5 = 548,6$	m^3
Raumvolumen des gesamten Stallraums (A0)	: $185 \times 6,5 = 1202,5 \approx 1200$	m^3
Luftbedarf für jede Kuh	: $1200 \div 20 = 60$	m^3/Kuh

7.5.2.3 Luftwechselrate

■ Lösungsvorschlag (L_A): Geschlossener Stall

Luftwechselrate = Volumenstrom \div Stallvolumen

Stalleinheit umfasst 45 Kühe $\times 1,2 = 54$ GVE

Volumenstrom: $54 \times 600 = 32\,400 \text{ m}^3$, Gebäudevolumen: 2700 m^3

Luftwechselrate: $32\,400 \text{ m}^3 \div 2700 \text{ m}^3 = 12$

Berechnung der Luftwechselrate nach dem CO₂-Maßstab

$$L = K \div (C_2 - C_1) \dots \dots \dots (7.09) \text{ (n. Stallklima.Net)}$$

L Frischluftmenge [m^3/h] um bestimmten CO₂-Gehalt zu gewährleisten

K von den Tieren ausgeschiedene CO₂-Menge

C1 CO₂-Gehalt in der Umwelt ($0,35 \text{ l/m}^3$)

C2 CO₂-Gehalt in der Stallluft [l/m^3]

Stalleinheit: 2700 m^3 ; 54 (GVE) Rinder à 500 kg; CO₂-Gehalt: 0,4 Vol%

1 Rind produziert $160 \text{ L CO}_2/\text{h}$;

$L = 54 \times 160 \div (4 - 0,35) = 2367 \text{ m}^3$ Frischluft pro h

Luftwechselrate: $2367 \div 2700 = 0,88$

■ Lösungsvorschlag (L_B): Halb geschlossener Stall

Luftwechselrate = Volumenstrom \div Stallvolumen

Stalleinheit umfasst 20 Kühe $\times 1,2 = 24$ GVE

Volumenstrom: $24 \times 600 = 14\,400 \text{ m}^3$, Gebäudevolumen: 1200 m^3

Luftwechselrate: $14\,400 \text{ m}^3 \div 1200 \text{ m}^3 = 12$

Berechnung der Luftwechselrate nach dem CO₂-Maßstab (n. Gleichung 7.9)

Stalleinheit: 1200 m^3 ; 24 (GVE) Rinder à 500 kg; CO₂-Gehalt: 0,4 vol%

1 Rind produziert $160 \text{ L CO}_2/\text{h}$;

$L = 24 \times 160 \div (4 - 0,35) = 1052 \text{ m}^3$ Frischluft pro h

Luftwechselrate: $1052 \div 1200 = 0,88$

7.5.2.4 Zuluftöffnungen

Um die Zuluftöffnungen zu berechnen, müsste als erster und wichtigster Schritt das Luftvolumen für die Kühe unter bestimmten Angaben berechnet werden. Nach den Gleichungen 1 - 7, und wie auch in der Tabelle 7.05 gezeigt wurde, ist für 1 GVE (500 kg) mit einer Milchleistung von ca. 7000 kg/Jahr in optimaler Umgebungstemperatur von 20 °C das benötigte Luftvolumen mit $600 \text{ m}^3/\text{h}$ berechnet. Der zweite Faktor für die Zuluftöffnungen ist die Luftgeschwindigkeit. Nach der Planungsdaten (Landwirtschaftskammer Hannover, 1983) ist angegeben, dass die optimale Luftgeschwindigkeit zwischen 0,2 und 0,6 m/s liegt (Durchschnitt 0,4 m/s).

Nach BARNWELL 2002 hängt die erzielte Luftgeschwindigkeit von der Umgebungstemperatur ab. Je höher die Luftgeschwindigkeit, desto höher ist die Kühlungswirkung (s. Tab. 7.03). Des-

halb kann eine Luftgeschwindigkeit bei heißen Temperaturen von max. 2,5 m/s empfohlen werden.

■ Lösungsvorschlag (L_A): Geschlossener Stall

■ Berechnung der Zuluftöffnungen

Die Stalleinheit umfasst 45 Kühe $\Rightarrow 45 \times 1,2 = 54$ GVE

Luftvolumen für gesamte Stalleinheit $54 \text{ GVE} \times 600 \text{ m}^3/\text{h} = 32400 \text{ m}^3/\text{h}/\text{GVE}$

$$32400 \div 3600 = 9 \text{ m}^3/\text{s}/\text{GVE}$$

Die Zuluftöffnungen werden für verschiedene Stufen der Luftgeschwindigkeit berechnet, die von 0,4 bis 2,5 m/s variiert (Tab. 7.06)

Tab. 7.06: Berechnung der Zuluftöffnung für gesamte Stalleinheit und für jedes Tier - Lösung (L_A)

A: Luftvolumen	B: Geschwindigkeit	C: Zuluftöffnung A ÷ B	D: Tierzahl	F: Zuluftöffnung/Tier C ÷ D
[m ³ /s]	[m/s]	[m ²]	[Kuh]	[m ²]
9	0,4	22,5	45	0,5
9	1,0	9,0	45	0,2
9	1,5	6,0	45	0,13
9	2,0	4,5	45	0,1
9	2,5	3,6	45	0,08

■ Ort der Zuluftöffnung

Die Lüftungs- und Kühlungssysteme dieser Lösung wurden durch den Innenhof anhand von verschiedenen Methoden wie z. B. Nachtkühlung, Windfänge und EWT geplant. In der Nacht werden die Dachlamellen des Innenhofs geöffnet, da die Dachfläche ca. 92 m² beträgt, um das große Volumen von Frischluft in den Stall eintreten zu lassen. Am Tag, wo es extreme Temperaturen gibt, erfolgte die Lüftung durch Windfänge und Erdwärmetauscher. Die Kalt- und Frischluft wird durch einen Luftverteilungsraum, der unter dem Innenhof liegt, zum Innenraum des Stalles geleitet. Die Zuluftöffnungen befinden sich unter den Innenhofwänden und werden direkt zu den Liegeboxen ausgerichtet.

Für die Zuluftöffnung jeder Kuh wurde der Wert mit 0,5 m²/Kuh nach der Tabelle 7.06 übernommen und die Öffnungen werden mit verstellbaren Klappen bis 0,1 m²/Kuh versehen, um Luftgeschwindigkeit und Luftvolumen zu kontrollieren.

Bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,5 m/s wird für 27 Liegeboxen, die sich an drei Seiten des Innenhofes befinden, eine Fensterfläche von 13,5 m² (0,5 m² x 27) eingeplant. Entlang der drei Seiten des Innenhofs, der 27 m² groß ist (3 m x 9 m), wird eine Fensterfläche von 0,5 m² je Kuh (13,5 m² ÷ 27) vorgesehen. An der vierten Seite des Innenhofs, woran der Laufgang direkt anschließt, wird für 18 Liegeboxen eine Gesamtfensterfläche von 9 m² (18 x 0,5 m²) benötigt (Abb. 7.24).

Falls es keine ausreichende Luftmenge für die Liegeboxen gibt, die sich neben der Wand befinden, kann die Luftgeschwindigkeit durch einige Ventilatoren erhöht werden, die im Luftverteilungsraum angebracht werden können.

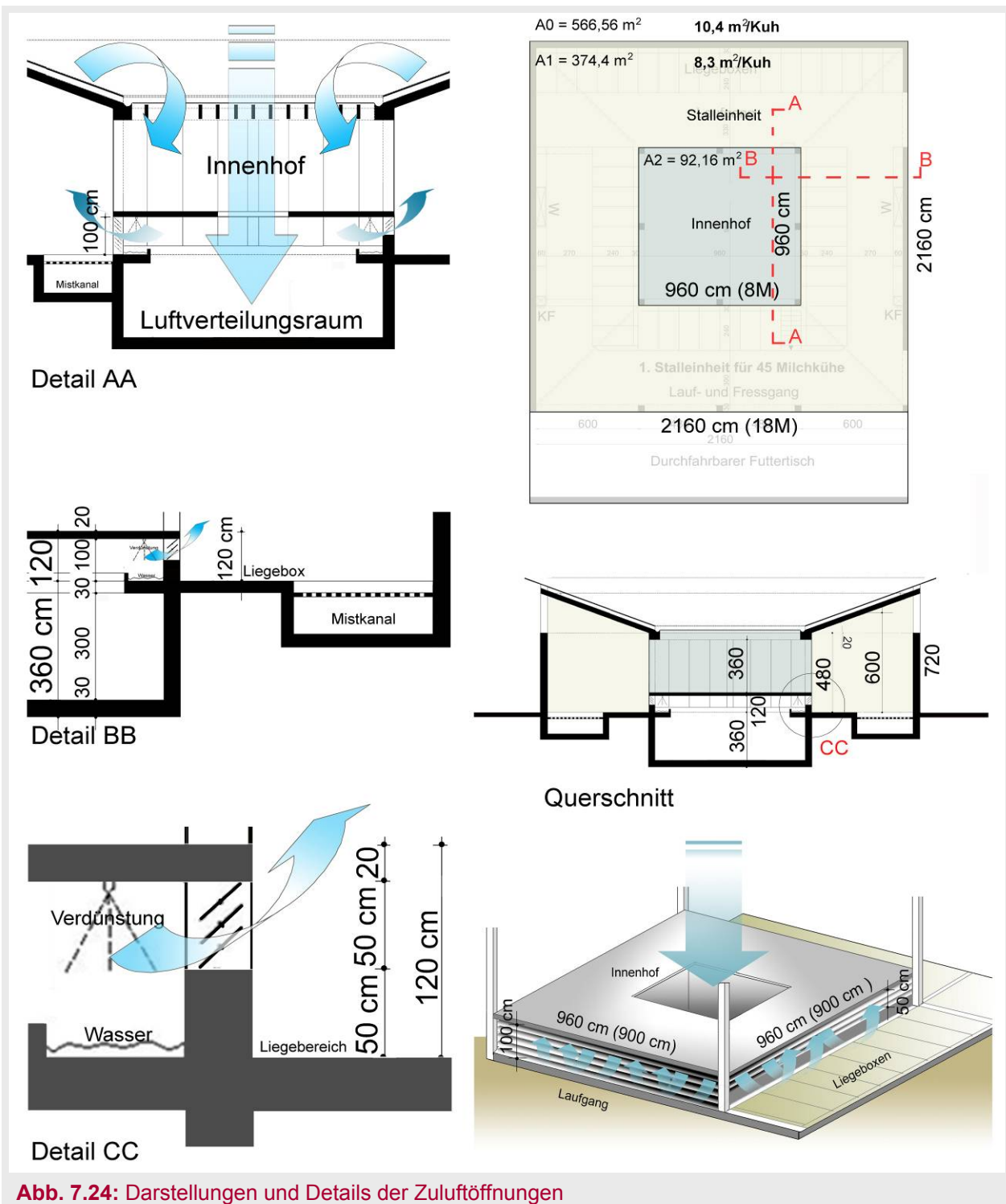


Abb. 7.24: Darstellungen und Details der Zuluftöffnungen

▪ Zuluftkanal

Der Luftkanal hat die Aufgabe, die heiße Außenluft anzusaugen und durch das Erdreich zu leiten und dort abkühlen zu lassen sowie diese danach in den Stallraum führen. Deshalb müssen bei der Dimensionierung der Quer- und Längsschnitt, die Öffnungsrichtung und die Position berücksichtigt werden.

In der Hauptidee der Lösung (L_A) wurden zwei Luftkanäle für jede Stalleinheit vorgeschlagen, damit eine große Kontaktfläche mit dem Erdreich geschaffen wird. Bei der entwickelten Idee wurde zur Erleichterung nur ein Kanal statt zwei Kanälen mit gleichen Bedingungen geplant.

Bei beiden Ideen soll der Querschnitt des Zuluftkanals die gleiche Zuluftöffnung haben, d. h. er muss mindestens eine Fläche von $22,5 \text{ m}^2$ haben. Für einen Luftkanal sind die lichten Abmessungen mit $9 \times 2,5 \text{ m}$ vorgesehen (Abb. 7.25). Verschiedene Alternativen für Zuluftkanal bzw. Windfang werden in der Abbildung 7.26 dargestellt.



Abb. 7.25: Gestaltung des Zuluftkanals - Vergleich zwischen Haupt- und entwickeltem Plan

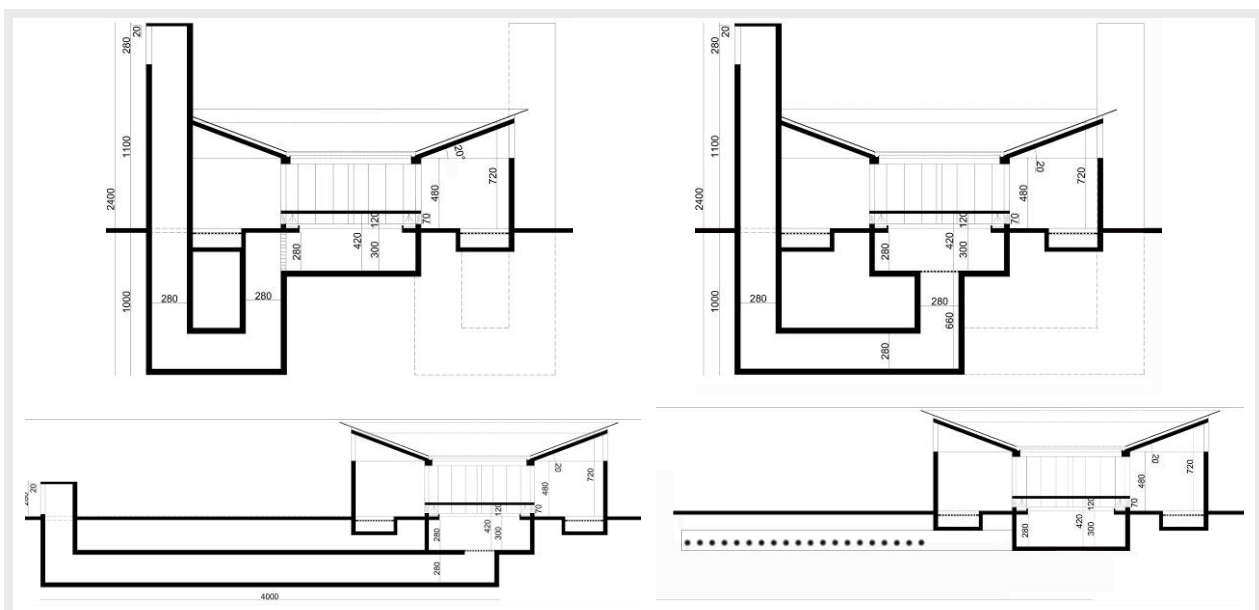


Abb. 7.26: Verschiedene Alternativen zur Gestaltung des Zuluftkanals und des EWT

■ Lösungsvorschlag (L_B): Halb geschlossener Stall

■ Berechnung der Zuluftöffnungen

Auch für Lösung (L_B) wurde die Zuluftöffnung mit demselben Verfahren wie bei Lösung (L_A) berechnet.

Die Stalleinheit umfasst 20 Kühe $\Rightarrow 20 \times 1,2 = 24 \text{ GVE}$

Luftvolumen für gesamte Stalleinheit $24 \text{ GVE} \times 600 \text{ m}^3/\text{h} = 14\,400 \text{ m}^3/\text{h/GVE}$

$$14\,400 \div 3600 = 4 \text{ m}^3/\text{s/GVE}$$

Die Zuluftöffnungen hängen auch hier von der Luftgeschwindigkeit ab. Deshalb werden sie mit verschiedenen Stufen berechnet (Tab. 7.07).

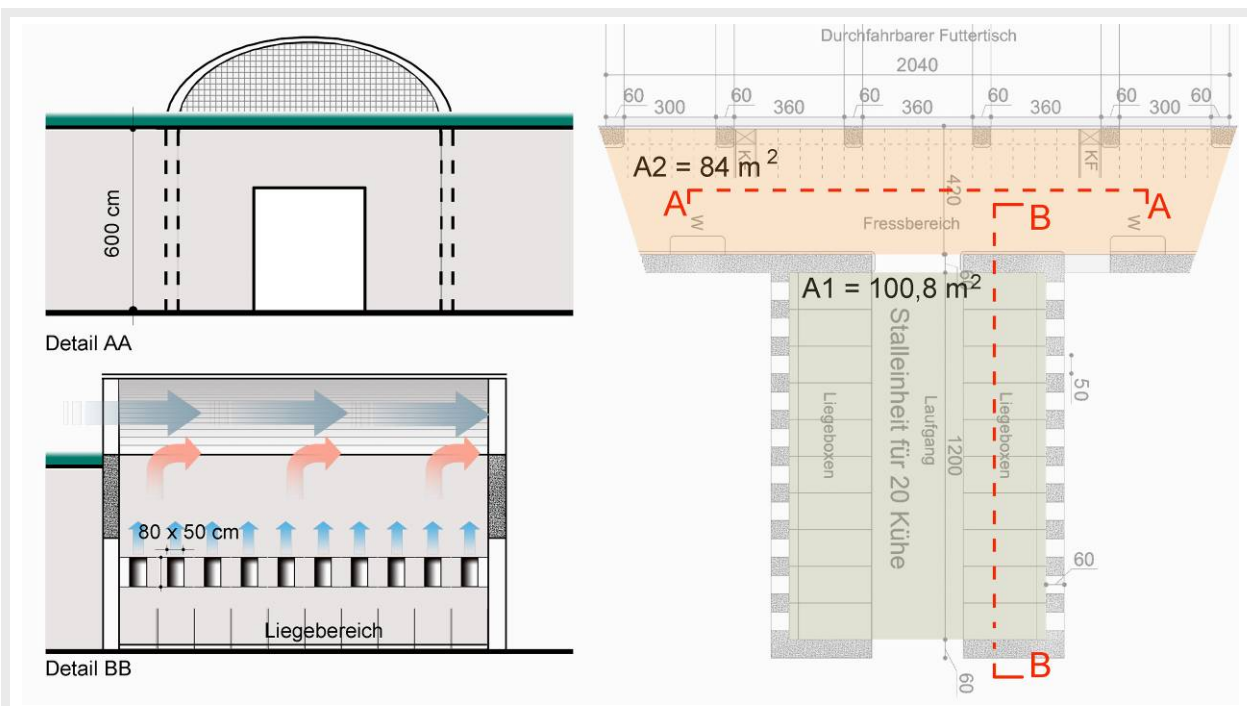
Tab. 7.07: Berechnung der Zuluftöffnung für gesamte Stalleinheit und für jedes Tier der Lösung (L_A)

A: Luftvolumen	B: Geschwindigkeit	C: Zuluftöffnung $A \div B$	D: Tierzahl	F: Zuluftöffnung/Tier $C \div D$
[m ³ /s]	[m/s]	[m ²]	[Kuh]	[m ²]
4	0,4	10	20	0,5
4	1,0	4	20	0,2
4	1,5	2,7	20	0,13
4	2,0	2	20	0,1
4	2,5	1,6	20	0,08

Ort der Zuluftöffnung

Bei dieser Lösung werden verschiedene Lüftungsmethoden verwendet. In kalten und gemäßigten Jahreszeiten sowie im Sommer während der Nacht werden alle Öffnungen geöffnet, damit genügend frische und kalte Luft in den Stall gelangen kann. Bei extremen Temperaturen wurde der Stall indirekt durch Windfänge und EWT gelüftet. Die Luft wird mit dieser Methode eingeführt und wird in einem Luftverteilungsraum gespeichert und durch Fenster bestimmter Größe in den Stall eingeführt.

Wie in der Tabelle 7.07 berechnet, hat jede Stalleinheit 10 m² große Zuluftöffnungen. Für den Liegebereich wurden 8 m² Fensterfläche und für den Fressgang eine Öffnung von 2 m² geplant (diese Öffnungsfläche wird als Eingang zum Luftverteilungsraum benutzt). Für den Liegebereich wird vorgesehen, dass jede Liegebox ein Fenster von 0,5 m x 0,8 m hat, d. h. für den gesamten Liegebereich beträgt die Zuluftöffnung 8 m² (0,5 x 0,8 x 20 Liegeboxen). Die Zuluftöffnungen befinden sich direkt oberhalb des Liegebereichs (Abb. 7.27).

**Abb. 7.27:** Details der Zuluftöffnung der Lösung (L_B)

7.5.2.5 Erdwärmetauscher - Berechnungen

A. Berechnungen

Für die Berechnung der **Luftleistung** pro Rohr gilt:

$$\text{Querschnitt (m}^2\text{)} \times \text{Luftgeschwindigkeit (m/s)} \times 3600 = \text{m}^3/\text{h} \dots (7. 10) \text{ (DLG, 2003)}$$

Die Berechnung der Luftraten für die Erdwärmetauscher wird für Lüftungsanlagen in Viehställen (Sommerluftrate) durchgeführt. Für die Berechnung der Anzahl der Rohre für den Erdwärmetauscher gilt:

$$\text{Sommerluftrate} / \text{Luftleistung pro Rohr} = \text{Anzahl der Rohre} \dots (7. 11) \text{ (DLG, 2003)}$$

■ Lösungsvorschlag (L_A): Geschlossener Stall

45 Kühe pro Stalleinheit

Luftvolumen: $45 \times 1,2 \times 600 = 32\,400 \text{ m}^3/\text{h}$

Stallvolumen: $2700 \text{ m}^3/\text{h}$

Luftwechselrate: 12

Tab. 7.08: Verschiedene Berechnungen für EWT pro Einheit der Lösung (L_A)

Alter.	EWT - Angaben	Luftleistung Querschnitt [m ²] x V [m/s]		Anzahl der Rohre		ges. Querschn. Rohre	
	DN [mm], V_{Rohr} [m/s]	[m ³ /h/Rohr]		[Rohre]		[m ²]	
L_A-1	DN 0500, V_{Rohr} : 4,5	$0,2 \times 4,5 \times 3600 \text{ s/h} =$	3240	$32400 \div 3240 =$	10	$10 \times 0,2 =$	2,0
L_A-2	DN 0800, V_{Rohr} : 1,8	$0,5 \times 1,8 \times 3600 \text{ s/h} =$	3240	$32400 \div 3240 =$	10	$10 \times 0,5 =$	5,0
L_A-3	DN 0800, V_{Rohr} : 2,0	$0,5 \times 2,0 \times 3600 \text{ s/h} =$	3600	$32400 \div 3600 =$	9,0	$9,0 \times 0,5 =$	4,5
L_A-4	DN 1000, V_{Rohr} : 2,0	$0,8 \times 2,0 \times 3600 \text{ s/h} =$	5760	$32400 \div 5760 =$	5,8 (6)	$5,8 \times 0,8 =$	4,8
L_A-5	DN 1500, V_{Rohr} : 2,0	$1,8 \times 2,0 \times 3600 \text{ s/h} =$	12960	$32400 \div 12960 =$	2,5 (3)	$2,5 \times 1,7 =$	4,2
L_A-6	DN 2000, V_{Rohr} : 2,0	$3,1 \times 2,0 \times 3600 \text{ s/h} =$	22608	$32400 \div 22608 =$	1,5 (2)	$1,5 \times 3,1 =$	4,6

■ Lösungsvorschlag (L_B): Halb geschlossener Stall

45 Kühe pro Stalleinheit

Luftvolumen: $20 \times 1,2 \times 600 = 14\,400 \text{ m}^3/\text{h}$

Stalleinheitvolumen: 1200 m^3

Luftwechsel: 12

Tab. 7.09: Verschiedene Berechnungen für EWT pro Einheit der Lösung (L_B)

Alter.	EWT - Angaben	Luftleistung Querschnitt [m ²] x V [m/s]		Anzahl der Rohre		ges. Querschn. Rohre	
	DN [mm], V_{Rohr} [m/s]	[m ³ /h/Rohr]		[Rohre]		[m ²]	
L_B-1	DN 0500, V_{Rohr} : 2,0	$0,2 \times 2,0 \times 3600 \text{ s/h} =$	1440	$14400 \div 1440 =$	10	$10 \times 0,2 =$	2,0
L_B-2	DN 1000, V_{Rohr} : 2,0	$0,8 \times 2,0 \times 3600 \text{ s/h} =$	5760	$14400 \div 5760 =$	2,3 (3)	$3,0 \times 0,8 =$	2

In dieser Lösung wird der EWT für den gesamten Stall berechnet, weil diese Lösung ein Komplettsystem ist. Sie wird berechnet für:

180 Milchkühe im gesamten Stall

Luftvolumen: $180 \times 1,2 \times 600 = 129\,600 \text{ m}^3/\text{h}$

Stallvolumen: $1200 \text{ m}^3/\text{h} \times 10 \text{ (9 Einheiten + 1 Melkstand)} = 12\,000$

Luftwechselrate: $129\,600 \div 12\,000 = 10,8$

Tab. 7.10: Verschiedene Berechnungen für EWT für den gesamten Stall der Lösung (L_B)

Alter.	EWT - Angaben	Luftleistung Querschnitt [m ²] x V [m/s]	Anzahl der Rohre	ges. Querschn. Rohre
	DN [mm], V _{Rohr} [m/s]	[m ³ /h/Rohr]	[Rohre]	[m ²]
L _B -3	DN 1500, V _{Rohr} : 2,0	1,8 x 2,0 x 3600 s/h = 12960	129600 ÷ 12240 = 10	10 x 1,8 = 18
L _B -4	DN 2000, V _{Rohr} : 2,0	3,1 x 2,0 x 3600 s/h = 22320	129600 ÷ 22320 = 5,8 (6)	5,8 x 3,1 = 18

B. Verwendung eines Simulationsprogramms (GAEA)

Das Programm „GAEA“ unterstützt die Berechnung zur Dimensionierung der Auslegung von Erdwärmetauschern (EWT). Das Programm basiert auf der analytischen Berechnung des Wärmeübergangs zwischen Erdreich, im Erdreich verlegten Systemen paralleler Rohre und der das System durchfließenden Luft. Berechnet wird der Wärmeaustausch zwischen der den L-EWT durchströmenden Luft und dem Erdreich, die auftretende Temperaturänderung dieser Luft sowie eine Vielzahl wichtiger Folgedaten. Die Berechnung berücksichtigt die jahreszeitliche Schwankung der Temperatur im Erdboden, den Einfluss nahe gelegener Gebäude und des Grundwassers, die Schwankung des Ventilationsstroms anhand der auftretenden Ventilationslasten sowie den Außentemperaturverlauf gemäß typischer Wetterdaten oder Messwerte (Abb. 7.28).

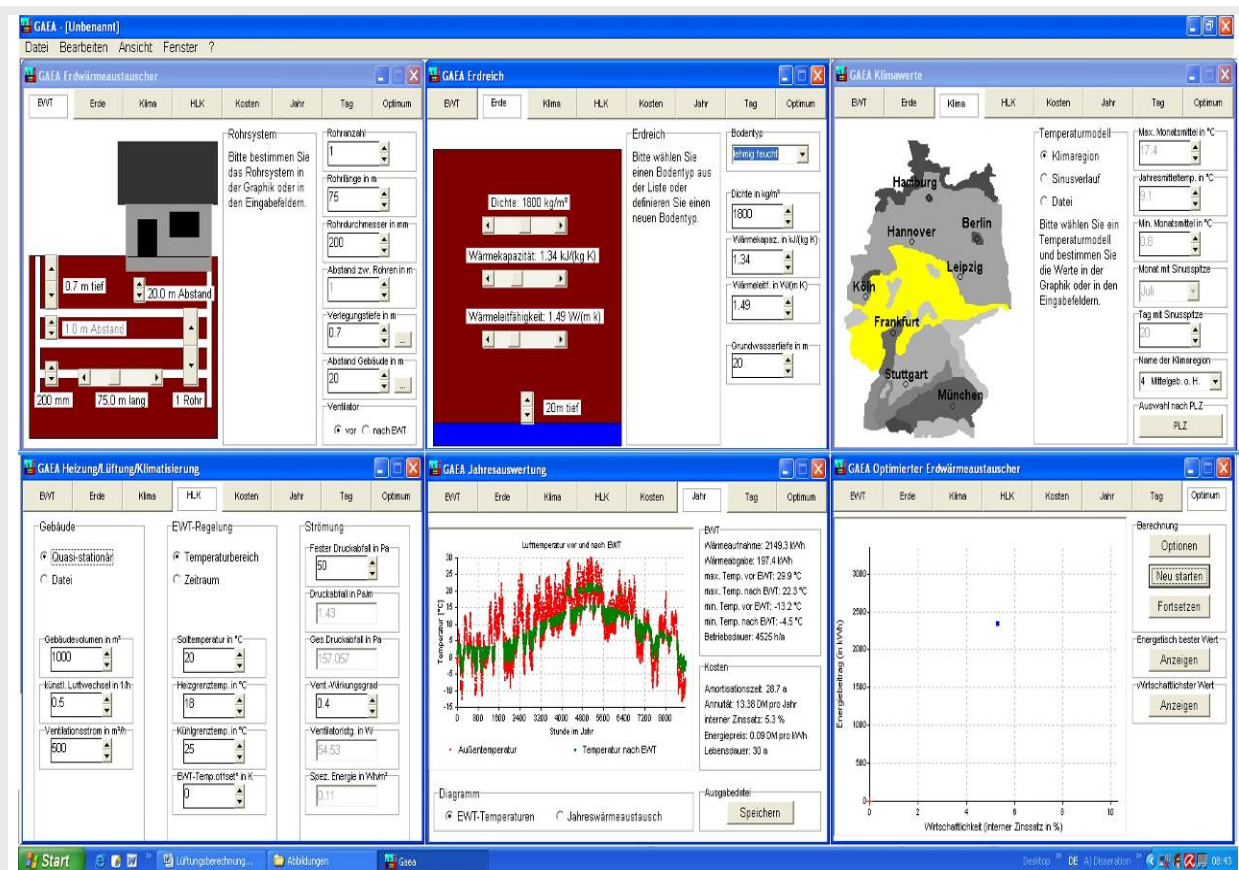


Abb. 7.28: GAEA - Programm

Tab. 7.11: EWT-Berechnungen und Simulation für Lösungsvorschlag (L_A)**A Festdaten**

Stallvolumen: 2700 m³
 Luftvolumenstrom: 32 400 m³/h
 Luftwechsel: 12
 Abstand zum Gebäude: 1,00 m *
 Bodentyp: lehmig feucht *
 Ventilator nach Erdwärmetauscher *

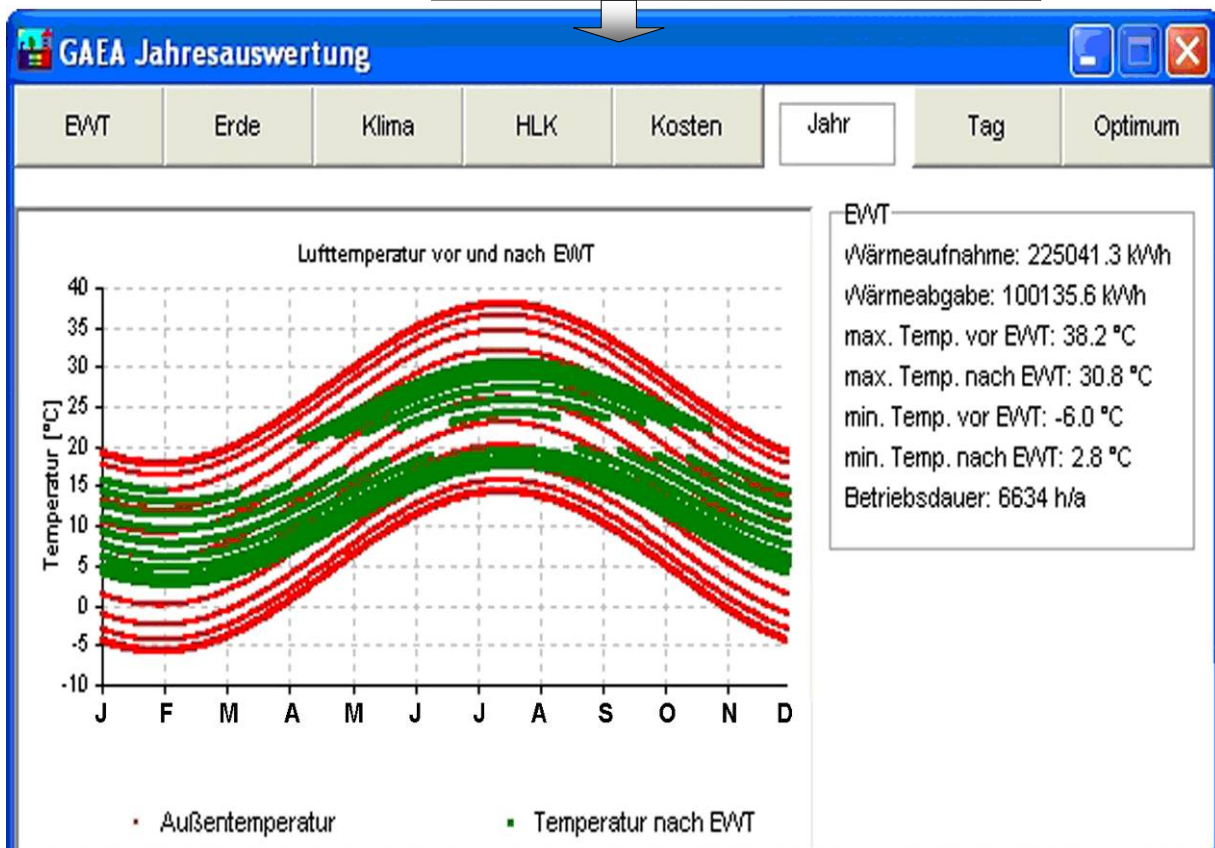
Vorschlagsreihe	L _A -1	L _A -2	L _A -3	L _A -4	L _A -5	L _A -6	Optimale Werte ***	
							Energet.	Wirtschaftl.

B Eingabedaten

1	Rohranzahl	[Rohr]	10**	10**	9**	6**	3**	2**	10	8
2	Rohrlänge	[m]	200	200	200	200	200	200	200	100
3	Rohrdurchmesser	[mm]	500**	800**	800**	1000**	1500**	2000**	500	1000
4	Abstand z. den Rohren	[m]	2	2	2,3	3,5	7	10	2	3
5	Verlegungstiefe	[m]	1	1	1	1	1	1,5	1	0,7
6	Luftgeschwindigkeit	[m/s]	4,5**	1,8**	2**	2**	2**	2**	-	-

C Ausgabedaten

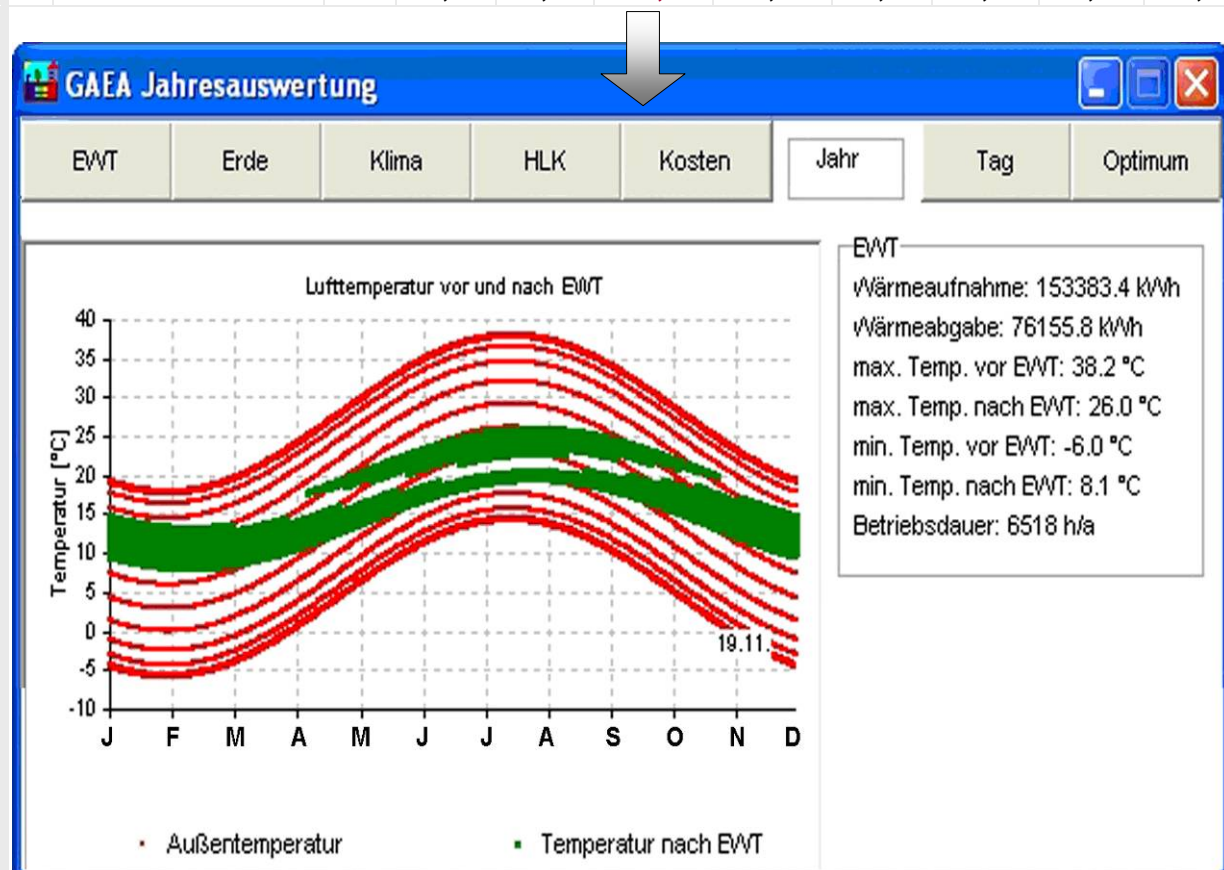
1	max. Temp. Vor EWT	[°C]	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2
2	max. Temp. nach EWT	[°C]	30,8	30,8	30,8	31,4	32,5	34,1	30,8	33,7
4	Temp.-Unterschied	[K]	7,4	7,4	7,4	6,8	5,7	4,1	7,4	3,5
5	min. Temp. Vor EWT	[°C]	- 6,0	- 6,0	- 6,0	- 6,0	- 6,0	- 6,0	- 6,0	- 6,0
6	min. Temp. nach EWT	[°C]	2,8	2,5	2,5	1,7	0,5	0,2	2,8	- 0,7
7	Temp.-Unterschied	[K]	8,8	8,5	8,5	7,7	6,5	6,2	8,8	6,7



*) vorausgesetzt durch das Programm. **) nach der Tabelle 7.08. ***) Die energetisch besten Werte und die wirtschaftlichsten Werte wurden durch das Programm selbst berechnet.

Tab. 7.12: EWT-Berechnungen und Simulation - Lösungsvorschlag (L_B)

A Festdaten			Für Stalleinheit				Für gesamten Stall			
			Stallvolumen: 1200 m³ Luftvolumenstrom: 14 400 m³/h Luftwechsel: 12 Abstand zum Gebäude: 1,00 m* Bodentyp: lehmig feucht* Ventilator nach EWT*				Stallvolumen: 12 000 m³ Luftvolumenstrom: 129 600 m³/h Luftwechsel: 10,8 Abstand zum Gebäude: 1,00 m* Bodentyp: lehmig feucht* Ventilator nach EWT			
	Vorschlagsreihe		L _B -1	L _B -2	Optimale Werte***		L _B -3	L _B -4	Optimale Werte***	
					Energet.	Wirtsch.			Energet.	Wirtsch.
B Eingabedaten										
1	Rohranzahl	[Rohr]	10	3	10	5	10**	6**	6	5
2	Rohrlänge	[m]	100	200	200	150	200	200	200	200
3	Rohrdurchmesser	[mm]	500	1000	1000	500	1500**	2000**	2000	1500
4	Abstand z. den Rohren	[m]	2	4	7,5	5	7	10	10	5
5	Verlegungstiefe	[m]	1	1,5	1	0,7	1	1,5	1,5	1
6	Luftgeschwindigkeit	[m/s]	2	2	-	-	2	2	-	-
C Ausgabedaten										
1	max. Temp. Vor EWT	[°C]	38,2	38,2	38,2	38,3	38,2	38,2	38,2	38,2
2	max. Temp. nach EWT	[°C]	30,9	31,3	26,0	31,5	33,1	34,9	34,9	35,4
4	Temp.-Unterschied	[K]	7,3	6,9	12,2	6,8	5,1	3,3	3,3	2,8
5	min. Temp. Vor EWT	[°C]	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	- 6,0	-6,0	-6,0	-6,0
6	min. Temp. nach EWT	[°C]	2.4	1,7	8,1	2,1	- 0,2	-2,2	-2,2	-2,7
7	Temp.-Unterschied	[K]	8,4	7,7	14,1	8,1	5,8	3,8	3,8	3,3



*) vorausgesetzt durch das Programm. **) nach der Tabelle 7.10. ***) Die energetisch besten Werte und die wirtschaftlichsten Werte wurden durch das Programm selbst berechnet.

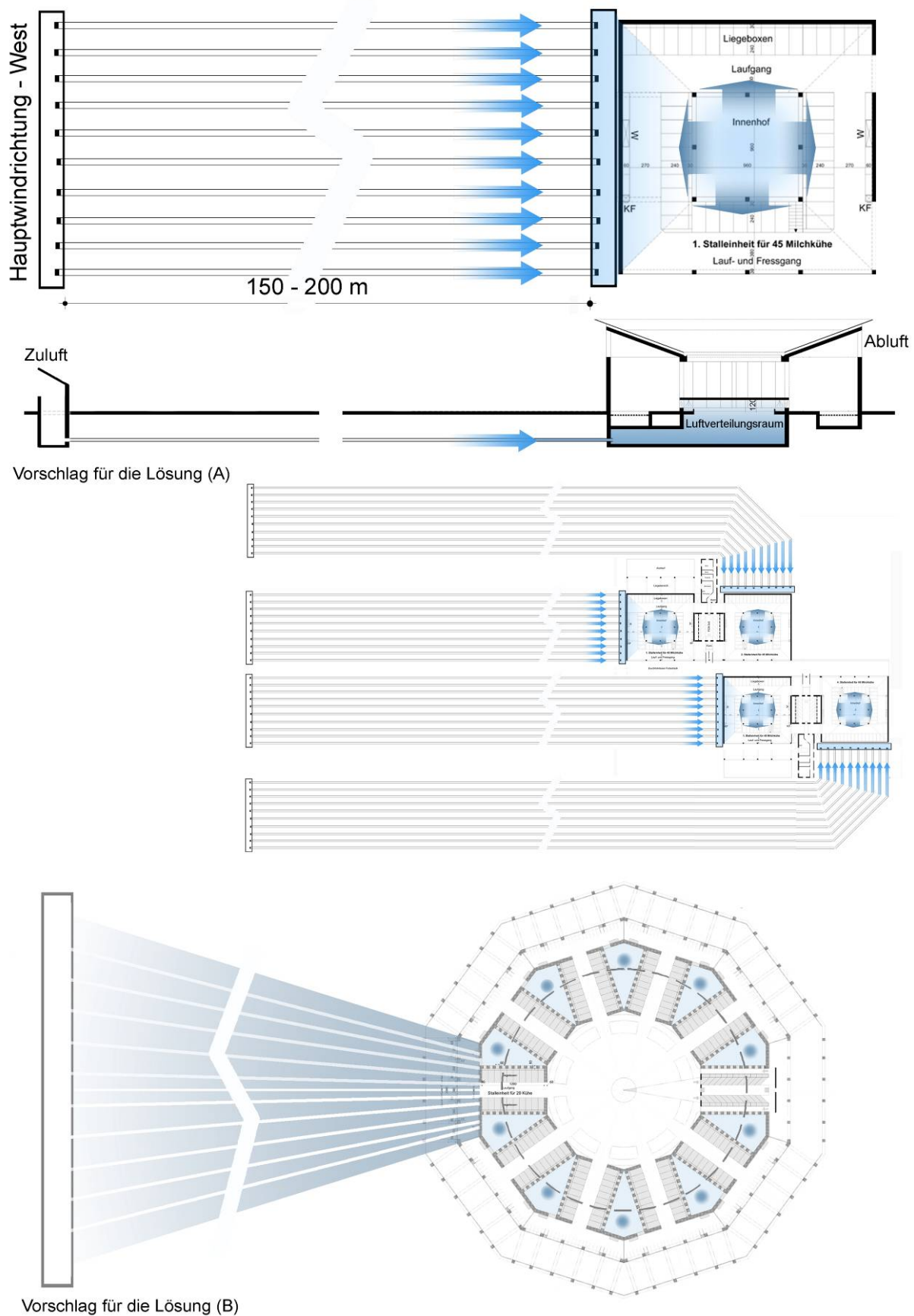


Abb. 7.29: Vorschläge zur Planung der EWT-Register für die Lösungen (L_A) und (L_B)

7.6 Zusammenfassung der Lösungsvorschläge

A. Stall- und Haltungssystem, Funktionen

1. Die Planungsalternativen bestehen aus geschlossenen, halb geschlossenen und offenen Ställen unter Benutzung des Liegeboxenlaufsystems. Die Haltung der Kühe in Laufställen führt zur Verbesserung des Gesundheitszustandes und damit zur Verbesserung der unmittelbar beeinflussten Merkmale.
2. In den Varianten werden alle Tiere in Leistungsgruppen aufgeteilt. Hauptziel dieser Einteilung ist die leichtere Kontrolle und Beobachtung bei Fütterung und Misten sowie die Stallbelüftung.
3. Jede Leistungsgruppe hat einen eigenen Fressbereich und sie wird allein zum Melkstand und Auslauf gebracht sowie damit unabhängig von den anderen Gruppen betrieben. In den Lösungsvorschlägen (A) und (B) kann jede Gruppe den zugeordneten Melkstand - ohne Querung von Futtertisch oder anderen betrieblichen Verkehrsachsen - erreichen. Die Gruppenaufteilung wurde in Abhängigkeit vom Melkstand mit bestimmten Buchten vorgenommen. Jeweils eine Gruppe gelangt durch den eigenen Vorwarteraum in den Fischgrätenmelkstand. Der Austrieb von dort in die Ställe wird über die befestigten Wege vorgenommen.
4. In den vorgeschlagenen Lösungen wurden alle Räumlichkeiten so geplant, dass die zu bewegendenden Transportgüter auf kurzen und möglichst geraden Wegstrecken zu ihren Verbrauchsstellen bzw. Lagerplätzen gebracht werden können. Es wurde primär verlangt, dass keine Stufen existieren, leichteste Bewegungsmöglichkeiten für die Lasten beim Bergen, Füttern und Ausmisten bestehen sowie Erweiterungsmöglichkeiten für alle Betriebszweige vorgesehen werden.
5. Jeder geschlossene oder halbgeschlossene Stall muss mit Auslauf und Weidegang verknüpft werden, da der Stall die Kühe während ungünstiger Wetterperioden schützt (im Sommer) und Auslauf und Weide ein wichtiger Aufenthalt für die Kühe in der günstigen Zeit sind.
6. Bei optimaler Flächennutzung kann der Platzbedarf der Tiere in Boxenlaufställen leicht erreicht werden. Jede Stalleinheit hat ein großes Raumvolumen. Für jede Kuh stehen etwa 8 m^2 Stallfläche zur Verfügung bei einem Stallvolumen von 50 m^3 . Alle Abmessungen der Funktionsbereiche basieren in erster Line auf den Grundmaßen der Körper der Tiere und deren benötigter Bewegungsfläche.
7. Die Fütterung und Entmistung (Festmistverfahren) erfolgt mit Futterverteilungswagen und Schiebeschild bzw. Stalltraktor.
8. In den Planungen müssten beide Seiten des Futtertisches genutzt werden.
9. Es wurde geplant, dass das Tier-Fressplatz-Verhältnis – um 1:1 zu sein – durch die Bemessungen der benötigten Breite der Fressplätze im Bezug zur Anzahl der Tiere steht.
10. Die Tagesbeleuchtung erfolgt durch den Innenhof und durch Dachlamellen des Futtertisches.
11. Den stallklimatischen Anforderungen im Hinblick auf Wärmeschutz, Be- und Entlüftung usw. ist besondere Beachtung zu schenken. Hiermit verbunden ist die richtige Wahl der zum Stallbau verwendeten Baustoffe.
12. Die richtige Gesamtkonzeption der Lösungen, dem Haltungssystem angepasste Belegdichte, funktionierende Be- und Entlüftung, ggf. genügend Einstreu und ordnungsgemäße

Entfernung von Mist und Jauche wurden berücksichtigt.

13. Die vorgeschlagene Planungsalternativen sollen unter Berücksichtigung betrieblicher Bedingungen die Zusammenhänge von Landwirtschaft und Baugestaltung aufzeigen.

B. Bausystem und Baumaterialien

14. Die Lösungsvorschläge wurden mit drei Haltungssystemen mit verschiedenen Bausystemen und Materialien geplant. Die baulichen Lösungen basieren auf einem modulierenden Bausystem. Das Grundmodul ($M = 120 \text{ cm}$) wurde von Körperabmessungen des Menschen und des Rindes sowie der benötigten Flächen für Maschinen hergeleitet und wird auf Stalleinrichtungen und Stahlkonstruktionen angewendet. Das Modul könnte bei leichter und schwerer Bauweise verwendet werden.
15. Die geschlossenen und halbgeschlossenen Stallsysteme wurden in Massivbauweise geplant. Es wurden dafür Baumaterialien in Bezug zu den Versuchsergebnissen gewählt, die eine gute Speicherfähigkeit und Dämmung haben, um die Innentemperatur konstant kühl zu halten und den Innenraum zu regulieren. Darum können die Außenwände bzw. tragende Wände aus Strohlehm oder Ziegel sein. In Literaturquellen wird auch Porenbeton vorgeschlagen. Das beste Material für Temperaturspeicherung ist Gummi und Holz, wie die Versuchsergebnisse gezeigt haben. Es wäre wünschenswert, die beiden Materialien weiterzuentwickeln, um sie für den Stallbau in ariden und semiariden Gebieten verwenden zu können.
16. Im offenen Stallsystem wurden hier einfache Konstruktionen mit Stahlstützen und ohne Wände geplant. Diese Lösung ist eine kostengünstige Standardlösung. Für diese Bauweise müssten die folgenden Punkte berücksichtigt werden:
 - Leichte, einfache, aber stabile Konstruktionssysteme mit geringen Unterhaltungskosten.
 - Leicht wandelbare, erweiterungsfähige, hallenartige Bauformen, die eine Veränderung des Innenausbauens zulassen und mit denen sich Anlagen stufenweise aufbauen lassen. Kurze Bauzeiten und einfache Baumethoden, die den Einsatz örtlicher Baukapazitäten und z. T. Eigenleistungen ermöglichen.
17. Für das leichte Bausystem müssen die Skelettkonstruktion und die Ausführung variabel mit vorgefertigten Elementen und leicht umzubauen sein. Die vorgefertigten, abnehmbaren oder versetzbaren Elemente, Platten und Verkleidungen können beliebig verändert werden. Das Ausfachen können am Ort vorhandene Arbeitskräfte vornehmen.
18. Für die Dachneigung wurden - mit Bezug zu den Versuchsergebnissen und aus lüftungstechnischen und gestalterischen Gründen - max. 20° geplant.
19. Bei allen Konstruktionen und Gebäudeteilen innerhalb des Stalles gilt: Stützensysteme sind außerhalb der Funktionsbereiche wie z.B. Futtertische, Mistgänge usw. vorgesehen. Sie müssen einen störungsfreien Arbeitsablauf gewährleisten.

C. Lüftung und Kühlung

20. Mit Bezug auf energiewirtschaftliche und andere ökonomische Erwägungen wurde die freie Lüftung als sinnvolle Methode in die Betrachtungen zur Lüftung der kleinen Ställe einbezogen und deren Wirkung im Sinne der Raumdurchströmung genutzt. Um Energie zu sparen und die Umwelt nicht zu belasten, wurden die Ställe mit natürlicher Lüftung und

einigen passiven Kühlsystemen betrieben.

21. Es werden verschiedene Methoden angewandt wie Windfänge, EWT, Innenhöfe und Ventilatoren, aber auch der Temperaturunterschied von Tag und Nacht sowie die Abkühlung durch das Erdreich genutzt, und mit anderen Methoden wie Verneblungs- oder Verdampfungskühlung kombiniert. Die Verdunstungskühlungsmethode reduziert den Hitzestress zuverlässig und verbessert den Komfort und die Milchproduktion von Milchkühen während der Sommersaison.
22. Um diese Methoden sinnvoll für Stalllüftung- und Kühlung zu nutzen, müssten die folgenden Punkte nachgeholt werden:
 - Ausnutzung der Haupteigenschaften des lokalen Klimas (Homs-Gebiet) wie westliche Hauptwindrichtung, relativ hohe Luftgeschwindigkeit (8 m/s) und dem deutlichen Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht (ca. 15 K).
 - Die passiven Kühlungssysteme, die bei Wohngebäuden verwendet werden, wurden auch in Stallgebäuden eingesetzt und weiterentwickelt, wobei die besonderen Anforderungen von Stallgebäuden, das Wohlbefinden der Tiere sowie verbrauchtes Luftvolumen berücksichtigt wurden. Deshalb mussten einige klimatische Berechnungen in die Planungen einbezogen werden, um die Funktionsfähigkeit der verwendeten Methoden zu garantieren.
 - Die Kombination mehrerer Kühlungsmethoden wurde vorgenommen, um das große Volumen des Stalls effizient zu kühlen.

D. Sonnenschutz

23. Der Stall wurde günstig zur Himmelsrichtung gestellt, damit den Tieren genügend Sonnenschutz (oder Sonneneinwirkung) und ausreichender Wetterschutz geboten wird.
24. Der sommerliche Wärmeschutz wurde durch entsprechende Materialwahl und die Konstruktionsdicke der Hüllflächen der Stallplanung verringert.
25. Für Sonnenschutz wurden in den Plänen verschiedene Maßnahmen wie Behandlung der Außenflächen und Phasenverschiebung angewendet.
26. Die ausgewählten Dachsysteme wurden entweder in Leichtbauweise mit heller Oberfläche von zweischaligem Blechdach oder Membrandach oder in Schwerbauweise z.B. mit Ziegel oder begrüntem Dach geplant.
27. Die Außenwände sind mit unterschiedlichen Dicken, Baustoffen und Öffnungen im Bezug zur Sonnenrichtung geplant, so dass die südlichen Außenwände am größten Teil des Gebäudes durch die Sonneneinstrahlung erwärmt werden. In den Plänen wurden die südlichen und teilweise die westlichen Außenwände minimiert. Sie sind mit massiven, gedämmten Baumaterialien, mit guten Wanddicken und weniger Öffnungen vorgesehen. Die nördlichen und östlichen Seiten könnten mit weniger Wanddicke bzw. mit anderen Baumaterialien gebaut werden. Die nördliche Seite könnte geöffnet werden.
28. Durch Phasenverschiebung kann die Erwärmung des Innenraumes um Stunden verzögert werden, bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Außenlufttemperaturen bereits wieder abgesunken sind.
29. Für die Bauteilkühlung speziell geeignet sind massive Decken (Lehm, Ziegel etc.). Sie können tagsüber Wärme aufnehmen und diese zeitverzögert wieder abgeben. Durch ihre

große Oberfläche und Trägheit reagieren Massivdecken ausgleichend auf Temperaturschwankungen im Raum. Die Betondecke sollte nach Möglichkeit unverkleidet sein. Wichtiger als die Anordnung der Speichermasse ist die Größe ihrer Oberfläche.

- 30.** Unter mäßigen klimatischen Bedingungen ist die Haltung von Kühen in offenen Laufställen möglich. Die raumumschließenden Bauteile des offenen Stalles sind nicht wärmege-dämmt. In jedem Falle muss der offene Stall genügend Schutz vor Wind und Regen bieten und es müssen extreme Temperaturen und plötzliche Temperaturschwankungen von den Tieren ferngehalten werden können.

Tab. 7.13: Vergleich zwischen den Alternativen

Stallsystem (Liegeboxenlaufsystem)	Alternative (A)		Alternative (B)	Alternative (C)
	Geschlossenes System		Halbgeschlossenes System	Offenes System
Zahlen, Abmessungen und Funktionen				
Liegeboxen	[Box]	180 (je Einheit: 45)	180 (je Einheit 20)	180 (50x2, 40x2)
Fressplätze (Breite 72-75 cm)	[Platz]	150 (37x4)	180	166
Fressplatzverhältnisse	x:1	1,2 : 1	1 : 1	1,1 : 1
Flächenbedarf (ohne Höfe)	[m ²]	1500 (375x4)	1665 (185x9)	1580
Flächenbedarf pro Kuhplatz	[m ² /Kuh]	8,3	9,2	8,7
Umbauter Raum (mit Innenhof)	[m ³]	10800 (2700x4)	10800 (1200x9)	8690
Umbauter Raum pro Kuhplatz	[m ² /Kuh]	60	60	48
Melkstand	Typ	zwei Melkstände je Tandem 2x5	ein Melkstand FGM 2x10	ein Melkstand FGM 2x5
Melkstand Abmessungen	[m ²]	6x12=72	8,4x12=100	6x9=54
Flächebedarf pro Kuh- platz	[m ² /Kuh]	9	5	5,4
Mistverfahren	Typ	Güllebehälter	Güllebehälter	Festmistplatte
Stallboden		Spaltenboden Unterkanäle	Spaltenboden Unterkanäle	Planbefestige Boden Flachschieben
Konstruktion				
Bauweise		Massivbauweise	Massivbauweise	Leichtbauweise
Konstruktion		Stahlbeton	Lehmbauweise	Stahlrahmen
Dach		zweischalig, glatt, hell und nach innen geneigt	- gebogene Form von Stahlrahmen und Dachzie- gel. -Dachbegrünung	- zweischalig, glatt, hell und geneigt. - Dachbegrünung. - Membrandach
Wände		Porenbeton	Lehm und Ziegel	Keine Wände
Kühlung und Lüftung				
Kühlungssystem (Verwendung der passi- ven Kühlungssysteme)		Nachtkühlung, EWT, Verdunstungskühlung	Nachtkühlung, EWT, Verdunstungekühlung	- Verdunstungskühlung, EWT - natürliche Lüftung, - Dachbegrünung
Lüftungssystem (Freie Lüftung)		Durch Innenhof Windfang, EWT	Durch Innenhof Windfang, EWT	Außenluft mit Verdunstungskühlung
Einige Lüftungsberechnungen				
Zuluftöffnungen	[m ²]	22,5 je Einheit	10 je Einheit	alle Seiten geöffnet
Luftgeschwindigkeit	[m/s]	0,4 - 2,5	0,4 - 2,5	0,4 - 2,5
Luftvolumenstrom (600 m³/h pro Kuh)	[m³/h]	32 400 je Einheit	14 400 je Einheit	129 600 gesamter Stall
Luftwechselrate		12	12	15

KAPITEL

8

Diskussion und Schlussfolgerung**8.1 Diskussion****Bedeutung der Rinder**

1. Das Rind ist das älteste und wichtigste Haustier des Menschen. Die geschichtliche Entwicklung der Beziehung zwischen Mensch und Rind beginnt etwa 8000 v. Chr., als sich die Rinder von Wildtieren durch Domestizierung zum Haustier wandelten. Die Bedeutung des Rindes ist, dass es während seines Lebens wie auch nach seinem Tode für den Menschen nutzbar ist. Neben seiner wirtschaftlichen Bedeutung hat es in einigen Ländern auch eine soziale und religiöse Wichtigkeit. Die wirtschaftliche Bedeutung des Rindes liegt in der Milch- und Fleischerzeugung. Die Produktion von Kuhmilch hat im Hinblick auf die Deckung des Bedarfs der Menschen an tierischem Eiweiß und Fett im Weltmaßstab eine große Bedeutung. Milch und Milchprodukte sind hochwertige Lebensmittel und stellen eine wichtige Quelle für viele lebensnotwendige Nährstoffe dar. Ein hoher Gehalt an Eiweiß, Fett, Kohlenhydraten und Vitaminen zeichnet die Milch aus. Wegen der großen Nachfrage des Menschen nach Milch zur Deckung seines Bedarfes an tierischem Fett wurde eine intensive Nutzung der Tiere angestrebt, was schließlich vielfach zu komplexen Stallsystemen führte.

Problemstellung und Zielsetzung

2. In nahezu allen Ländern der Erde wird Milch erzeugt. Aber in vielen Ländern, insbesondere in Entwicklungsländern der ariden und semiariden Regionen (z. B. Syrien), sind die Milchviehhaltung und die Milchproduktion nicht sehr verbreitet. Deshalb besteht ein Mangel an Milch und Milchprodukten in diesen Ländern und mithin ein Problem für die Ernährung der Völker. Um den Eigenbedarf zu decken, importieren diese Länder Milchvieh, Milch und Milchprodukte aus Europa. Die Hauptursachen für die mangelnde Milchproduktion in diesen Ländern sind auf folgende Punkte zurückzuführen:

- Wenig Milchkühe: Die Milchproduktion beträgt z.B. in Syrien ca. 110 kg/Person und Jahr; der Vergleichswert in Deutschland beträgt 345 kg.
- Fehlende Produktivität (geringe Milchleistung) und Effizienz bei der Milchproduktion der lokalen Rassen.
- Die mangelnde Effizienz resultiert vor allem aus der kostenaufwändigen Futterproduktion sowie aus schlechten Haltungs- und Stallbausystemen; beides ist wiederum auf ungünstige regionale Klimabedingungen zurückzuführen.

3. Die wichtigsten Ursachen für Leistungsunterschiede zwischen den Rinderrassen liegen in der klimatischen Umgebung und der genetischen Veranlagung. Die einheimischen Rinder der ariden und semiariden Regionen sind in Bezug auf Milch- und Fleischleistung weniger produk-

tiv als Rassen der gemäßigteren Zonen. Die durchschnittliche Milchleistung einheimischer Rassen liegt um ca. 70 % unter derjenigen von europäischen Hochleistungskühen.

In ariden und semiariden Klimaten ist die Frage, ob sich eine Rinderrasse aus den gemäßigten Zonen in den entsprechenden neuen Lebensbereichen mit Erfolg halten und insbesondere auch züchten lässt, oft von ausschlaggebender Bedeutung. Die europäischen Milchkühe fühlen sich innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches am wohlsten. Dieser Bereich wird als „Behaglichkeitsbereich“ bezeichnet, da in diesem Bereich die tierischen Leistungen optimal sind. Bei den europäischen Rinderrassen liegt der Behaglichkeitsbereich ungefähr zwischen 0 und 20 °C. Sobald die untere oder obere Grenze dieses Bereiches erreicht ist, nimmt die Wärmebildung des Körpers zu. Folglich bringt eine Überschreitung des Behaglichkeitsbereiches geringere Leistungen mit sich.

Die hohen Sommertemperaturen in den Ländern der ariden und semiariden Regionen (z. B. Syrien) – mit Tagesdurchschnittswerten von ca. 33 °C – stellen für eine Hochleistungskuh ein großes Problem dar, was zu deutlichen Leistungseinbußen führt. Die Milchleistung fällt bei Temperaturen über 24 °C um ca. 30 % ab. Diese Anforderungen stellen für Betriebsleiter und Planer in dieser Region eine schwer zu lösende Aufgabe dar.

Die Fragestellung dieser Arbeit lautete daher: Wie müssen die Stallgebäude in ariden und semiariden Gebieten gebaut werden, damit sie einen optimalen Raum für europäische Kühe bieten, und wie können diese modernen Ställe während der extrem heißen Sommerphasen mit minimalem Energieaufwand gekühlt werden?

4. Syrien ist ein typisches Land des Nahen Ostens mit ariden und semiariden Klimaten. Am Beispiel der in diesem Land herrschenden Bedingungen sollten im Rahmen dieser Arbeit Lösungsmöglichkeiten für die Haltung von mittel- bis hochleistenden Milchkühen erarbeitet werden, die möglichst auch auf andere Länder mit ähnlichen klimatischen Bedingungen übertragbar sein sollten.

Die Mehrzahl der Milchviehhaltungen in Syrien entspricht nicht dem geforderten Standard der europäischen Milchviehhaltung. Landwirtschaftliche Gebäude wurden früher in traditioneller Bauweise mit massiven Außenwänden erstellt. Aber mit dem Aufkommen neuer Baumaterialien wird heute diese alte Konstruktion nicht mehr verwendet. Die Ställe von Staatsbetrieben sind mit Stahlbeton errichtet. Bei den kleinen, privat geführten Betrieben kommen einfachste Konstruktionen zur Ausführung.

Als Geschlossen- und Offensysteme werden in Syrien die allgemein bekannten Stallsysteme verwendet. Bei vielen konventionell errichteten geschlossenen Stallgebäuden kommt es in den Sommermonaten zu sehr hohen und die Tiere stark belastenden Innentemperaturen. Die Erwärmung durch Sonneneinstrahlung, die Wärmeabgabe der Tiere und die Schadgasentwicklung durch Exkremente führen zu einem äußerst problematischen Stallklima. Die Stallinnentemperatur entspricht im günstigsten Fall der Außentemperatur. Tiere in Massivställen mit einer schlechten Lüftung und Kühlung, sind lange Zeit sehr hohen Temperaturen ausgesetzt, die in einem für europäische Rinderrassen physiologisch nicht mehr vertretbaren Bereich liegen. Die Offenställe sind in Syrien für die europäische Milchkuhhaltung (z.B. Friesian) angemessen, allerdings nur in den Jahreszeiten Herbst, Winter und Frühling. Die durchschnittliche Außentemperatur beträgt in diesen Jahreszeiten nicht mehr als 24 °C. Aber im Sommer, wenn die Außentemperatur bis 40° C beträgt, liegt die Innentemperatur des Stalles ungefähr 4 - 5 K unter der Außenlufttemperatur. Die Schutzfunktion mit Blick auf intensiven Lichteinfall, Wärmeein-

strahlung und sehr hohe Luftgeschwindigkeit kann nicht durch eine offene Bauweise gelöst werden.

Analyse

5. Die herrschenden Stallbausysteme, die entweder aus geschlossenen oder offenen Systemen bestehen, sind für die Milchviehhaltung in ariden und semiariden Gebieten nur in wenigen Monaten geeignet. Eine Temperaturregulierung und die Vermeidung von Hitzestress durch Klimatechnik (Kühltechnik) sind wegen der damit verbundenen Investitions- und Unterhaltskosten in der Regel auszuschließen, weil die Milchproduktion dadurch unrentabel würde.

6. In Syrien gibt es keine flexiblen Ställe, in denen die Milchkühe unter unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen gehalten werden können. Die Kühe werden entweder in offenen oder geschlossenen Ställen untergebracht. In den gemäßigten Klimazonen – z.B. in den Bergen – können die Kühe in allen Jahreszeiten problemlos gehalten werden, weil sie im Winter die niedrigen Temperaturen vertragen können und es im Sommer dort keinen Hitzestress gibt. Die Milchleistung wird in diesen Zonen durch Temperatureinflüsse nicht stark beeinträchtigt. Aber in den Regionen, wo die Temperaturwechsel sowie die Umgebungsänderung stark sind, resultiert eine zusätzliche Belastung für die Hochleistungsmilchkühe.

7. Das Klima in Syrien kann im Hinblick auf europäische Milchviehrassen in zwei Zeiträume gegliedert werden: **a)** Zwischen Oktober und Mai, wenn die mittlere max. Außentemperatur weniger als 24 °C beträgt, hat das Klima keine negativen Einflüsse auf die Milchleistung der Kühe; **b)** zwischen Juni bis September (im Sommer), wenn die Tagestemperaturen und die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht sehr groß sind; in dieser Phase werden die höchsten Temperaturen am Tag von bis zu 40 °C (gegen 16 Uhr) und die niedrigsten Temperaturen mit 15 °C frühmorgens (gegen 4 Uhr) erreicht. Die europäischen Hochleistungsmilchkühe können die hohen Tagestemperaturen während der Phase (b) und die dabei auftretenden gravierenden Temperaturschwankungen nicht vertragen.

Aufgabe

8. Deshalb war die Hauptaufgabe dieser Arbeit, flexible, günstige und moderne Lösungen zu schaffen, die den Kühen das ganze Jahr über eine artgerechte und leistungsfördernde Stallhaltung garantieren, und die anhand einfacher Kühlungs- und Belüftungstechniken eine Energie sparende und wirtschaftliche Produktion ermöglichen.

Ausgangssituation

9. Um eine angepasste Milchviehhaltung in Syrien betreiben zu können, ist folglich als erster Schritt zunächst eine klimatische Analyse für das Land zu erstellen. Die Haupteigenschaften des lokalen Klimas für die im Mittelwesten Syriens gelegene Beispielregion Homs sind:

- Hohe Lufttemperaturen im Sommer: Die Temperaturen erreichen im Sommer bis zu 40 °C und im Winter bis zu 14 °C. Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit liegen in Bereichen, die eine Erwärmung im Winter wie auch eine Abkühlung im Sommer erfordern. Eine Voraussetzung für eine ertragreiche Milchviehhaltung ist unter anderem eine massivere Bauweise, welche eine hohe Wärmedämmung einerseits und Wärmeaufnahme durch Sonnenstrahlung andererseits sichert.

- **Hohe Luftgeschwindigkeit:** Die Windgeschwindigkeit ist relevant für die Abkühlung (Juni bis September). Sie schwankt zwischen den Werten 3 bis 8 m/sec westlicher Windrichtungen. Zur Durchlüftung der Stallgebäude bedarf es einer Windgeschwindigkeit bis 2,5 m/sec. Eine geringfügige Anreicherung der Luft mit Feuchtigkeit trägt auch zur Verbesserung des Mikroklimas bei.
- **Deutliche Temperaturschwankungen:** Die Schwankungen innerhalb des Tagestemperaturverlaufes sind während der Sommer- und Herbstmonate relativ hoch. Sie erreichen im Oktober bis zu 15 K. Empfehlenswert ist es, die Kühlung durch niedrige Nachttemperaturen und anhaftende Kälte am Gebäude für die hohen Tagestemperaturen als Kompensation zu nutzen. Umgekehrt sollten entsprechende Maßnahmen die Aufheizung der Bauteile durch Sonneneinstrahlung am Tag verhindern.

Lösungsmöglichkeiten

10. Die Entscheidung für das geeignete Stallsystem hängt in der ersten Linie vom herrschenden Klima und vom Standort ab. Dafür wurden drei Lösungsvorschläge bezüglich der klimatischen Bedingungen in dieser Arbeit vorgeschlagen, wobei das Prinzip der freien Lüftung angewendet wurde. In den Bergen und an Orten, wo die Umgebungstemperatur stabil ist und ein frischer Wind im Sommer weht, wird ein Offenstallsystem empfohlen. An anderen Orten, wo das Klima heiß und instabil ist, d.h. wo es große Temperaturschwankungen gibt, wird dagegen ein Stallsystem mit flexibler Lösung empfohlen; dabei wird ein halbgeschlossenes oder geschlossenes System mit Auslauf als vorteilhaft erachtet. Die Kühe können dabei im Winter und in den Übergangszeiten im Auslauf oder auf der Weide gehalten werden. Im Sommer, wenn das Wetter sehr heiß und unangenehm für die Kühe ist, können sie bis etwa 9 Uhr früh draußen im Auslauf übernachten, aber danach, zwischen 10 bis 18 Uhr, müssen sie sich im Stall aufhalten.

11. Die neuen Stallbausysteme können mit flexiblen Konstruktionen aus bestimmten Baustoffen und mit guter Belüftung gebaut werden. Sie müssen mit verstellbaren Öffnungen gebaut werden. In der günstigen Jahreszeit können die Kühe im Stall mit einer oder mehreren geöffneten Seiten gehalten werden. Bei extrem heißen Temperaturen sollen die Kühe im geschlossenen Stall unter Nutzung einer natürlichen Lüftung und Kühlung des Stallraumes bleiben.

12. Für das Ziel der Energieeinsparung wurde darüber hinaus in den Stallgebäuden die freie Lüftung genutzt. Bei der freien Lüftung werden natürliche Prinzipien für den Lufttransport genutzt. Da der Energieaufwand zum Transport von Luft erheblich ist, kann durch den natürlichen Antrieb ein großes Energiesparpotenzial erschlossen werden. In heißen Zonen oder Jahreszeiten bieten sich heute für die Bauweise mit freier Luftbewegung größere Möglichkeiten als bisher. Hitzeperioden, die es in den letzten Jahren häufiger gab und die sich auf die Leistungen und das Verhalten der Tiere negativ auswirkten, wird es zukünftig wahrscheinlich vermehrt geben. Bei Offenställen mit großen Luftvolumina belastet Hitzestress das Kompensationsvermögen der Kühe, wodurch die Futteraufnahme zurückgeht und zahlreiche Kühe mehr Körperfettreserven mobilisieren müssen. Stoffwechselstörungen werden dadurch gefördert. Zur Verhinderung dieser Belastungen könnten die mit freier Lüftung vorgeschlagenen Maßnahmen (z.B. Stall mit kegelförmigem Zeltdach, Nachtlüftung..) als optimale Lösung zur Stalkühlung genutzt werden und auch bei neu gebauten Außenklimaställen empfohlen werden.

13. Die Stallgebäude sollten natürlich belüftet werden. Das Wirkprinzip der freien Lüftung besteht darin, dass der Winddruck und die Temperaturdifferenzen und damit die Dichteunterschiede in der Luft die Antriebskraft für die freie Lüftung sind. Natürliche Lüftung bedeutet, dass am Tag die Außenluft ohne künstliche Nachbehandlung in das Gebäude geführt wird. Dies ist nur möglich, wenn die Außenluft zur Kühlung beiträgt, das heißt, die Außenluft muss niedriger sein als die gewünschte Innentemperatur (tagsüber). Die Innentemperatur setzt sich zusammen aus den internen Lasten (Abwärme der Kühe) und den externen Lasten (solare Gewinne durch Sonneneinstrahlung und Infiltration der Außenluft, welche höher ist als die gewünschte Innentemperatur). In einem Stall, in dem ca. 50 Kühe gehalten werden, wird die Innentemperatur ohne Lüftung nicht unter 35 °C betragen. Die Außentemperatur sinkt unter 20 °C nur dann, wenn es keinen starken Sonnenschein gibt, also zwischen 20 Uhr abends und 6 Uhr morgens. Deshalb könnte die freie Lüftung nur in diesem Zeitraum für die Lüftung und Auskühlung des Stallinnenraumes genutzt werden. Außerhalb dieser Zeit und wenn es keine starke Sonneneinstrahlung gibt, also morgens von 6 Uhr bis 10 Uhr und abends von 18 Uhr bis 20 Uhr, könnte die freie Lüftung noch mit zusätzlicher künstlicher Lüftung genutzt werden. Eine vollständige Kühlung mit Hilfe von Windfängen, EWT und Verdunstungskühlung sowie elektrischen Ventilatoren muss zwischen 10 Uhr und 18 Uhr stattfinden. Höhere Luftgeschwindigkeiten heben die Behaglichkeitstemperatur (gewünschte Temperatur) an.

14. Die weltweite Verknappung und Verteuerung der Energieträger hat dazu geführt, dass auch in der modernen Tierproduktion wieder einfache und traditionelle Methoden der Klimagegestaltung eingeführt wurden. Deshalb wird bei einer notwendigen Kühlung die Reduzierung des Energieverbrauchs angestrebt. Für diesen Zweck wurden die folgenden Maßnahmen verwendet: Innenhöfe, Windfänge, Nachtkühlung und natürliche Verdunstungskühlung. Diese und auch noch andere Maßnahmen, die zu den sogenannten „Passiven Kühlungssystemen“ gehören, wurden in der Vergangenheit und werden auch heute noch für die Kühlung von Wohngebäuden in den heißen ariden und semiariden Gebieten verwendet.

15. In den vorgeschlagenen Plänen wurden Verdunstungssysteme als gute und sinnvolle Methode verwendet. Der Stall könnte während extrem heißer Tage mit Hilfe der künstlichen Verdunstung durch die Verneblung und an normal heißen Tagen mit natürlichen Mitteln gekühlt werden. Die Verdunstungsverhältnisse des Wüstenklimas begünstigen einfache Maßnahmen in den Sommermonaten. Die Verdunstungskühlung lässt sich bis zu einem gewissen Grad durch natürliche Mittel erzielen, z.B. durch Bäume, sonstige Vegetation, Wasserbecken, künstliche oder natürliche Seen, Brunnen oder bei Bedarf mit mechanischen Mitteln. Wenn das Wasserangebot ausreichend ist, können wasserbezogene Kühlungsmethoden sehr wirtschaftlich sein.

16. Zur Kühlung der vorgeschlagenen modernen Stallbaulösungen wurden passive Kühlungssysteme genutzt. Daneben werden auch Erdwärmetauscher verwendet. Erdwärmetauscher wurden in den letzten Jahren bei vielen Wohngebäuden und Ställen verwendet. Sie werden bereits erfolgreich zur Luftvorerwärmung und -kühlung eingesetzt und helfen somit, den Energiebedarf für das Heizen und Kühlen von Gebäuden weiter zu reduzieren. Bei steigenden Energiepreisen wird der Erdwärmetauscher gegenüber der elektrischen Vorheizung bzw. zur Zuluftkühlung immer attraktiver und in Zukunft standardmäßig zu den Lüftungsanlagen gehören. Ein ausgeglicheneres Stallklima kann zu weniger Futterverbrauch pro kg Zuwachs, höheren Wachstumsraten sowie weniger Ausfällen und Krankheiten führen. Durch eine Optimierung

der Rohrgeometrie (Durchmesser, Länge, Verlegetiefe, Achsabstand) lassen sich die Investitionskosten stark senken.

17. Die Verbesserung des Innenstallklimas mit natürlichen Mitteln durch eine klimagerechte Planung ist unter den ariden und semiariden Klimabedingungen wichtig. Dabei sind die geschlossenen, kompakten Formen und die schwere, massive Bauweise als die typischen Grundbauarten in den ariden Gebieten zu empfehlen. Durch richtige Anordnung eines Gebäudes zur Sonne und zum Wind, die Grundrissgestaltung, den konstruktiven Aufbau und die Materialwahl konnte die Temperatur in den Innenräumen um einige Grade gesenkt werden. Dadurch konnte das Gefühl von Wohlbehagen erzeugt werden, ohne die heute verfügbaren energieaufwendigen technischen Kühlungseinrichtungen einzusetzen.

18. Das Sommerklima in ariden und semiariden Gebieten zeichnet sich durch große Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht aus. Daraus ergeben sich folgende Konsequenzen für die Anwendung der Versuchserkenntnisse:

- Die Temperaturdifferenzen können bei guter Planung und der Auswahl geeigneter Baustoffe Kosten sparend für den Bau von Stallgebäuden genutzt werden.
- Die Verwendung schwerer Baustoffe trägt dazu bei, dass die hohen Außentemperaturen am Tag (Wandoberflächentemperaturen) sich erst mit einer zeitlichen Verzögerung von mehr als sechs Stunden auf die Stallinnentemperatur auswirken, also zu einer Zeit, wenn die kühlen Abendtemperaturen für die Lüftung genutzt werden können.

19. Mit Blick auf die Milchviehhaltung und den Stallbau müssen die folgenden Punkte berücksichtigt werden:

- Die Grundlage für einen tiergerechten Stallbau ist das Wissen von der Biologie und dem Verhalten der Tiere in ihren ursprünglichen Lebensräumen. Eine ausreichende Berücksichtigung der natürlichen Anforderungen der Rinder im Stallbau dient der Gesundheit und dem Wohlbefinden der Tiere und letztendlich auch dem Tierhalter.
- Die Klimagegestaltung erfolgt nicht nur mit Rücksicht auf das Tier. Der Stall ist Arbeitsplatz für den Menschen und bei zunehmender Konzentrierung der Tierhaltung steigen die Anforderungen besonders an die Luftqualität. In einem feuchtwarmen, mit unangenehmen Gerüchen angereicherten Stall ist es für die Menschen belastend, ihre Arbeit zu verrichten.
- Wenn moderne Ställe für europäische Holstein-Friesian-Kühe in Syrien gebaut werden, müssen alle Funktionsbereiche und Abmessungen der Ställe den Verhältnissen dieser Kühe angepasst werden, insbesondere die Liegeboxen, Lauf- und Fressbereiche und Melkstände. Für Melksysteme ist der FGM ein einfaches und bekanntes System, weshalb es in Syrien weiter verwendet werden könnte. Für die Entmistung sind die Festmistverfahren auch in Syrien verwendbar, aber auch Flüssigmistverfahren können in einigen Fällen Verwendung finden, da diese viele arbeitswirtschaftliche Vorteile haben.

20. Aus Sicht der Regionalplanung müssen die Stallanlagen am Rand der Städte gebaut werden. Zur Minderung der Auswirkungen von Emissionen und Geruchsstoffen auf die Menschen, sollen die Stallanlagen in einer bestimmten Entfernung von der Wohnbebauung geplant werden. Die Entfernung zwischen der Stallanlage und der nächsten Wohnbebauung hängt von der Anzahl der Rinder in der Anlage ab und wird nach der VDI-Rechtline 3474 berechnet (z.B. muss eine Stallanlage mit 200 Kühen eine Entfernung von mindestens 180 m zur nächsten Wohnbebauung haben).

8.2 Schlussbetrachtung und Empfehlungen

A. Die statistischen Daten deuten für Syrien auf einen Mangel bei der Milchproduktion des Landes hin. Um dieses Problem zu lösen, müssten zahlreiche Milchviehställe von staatlichen und privaten Betrieben gebaut werden und zwar für Hochleistungskühe, die importiert werden müssen, und für herkömmliche Milchkühe, die mit Hochleistungskühen gekreuzt werden. Vor diesem Hintergrund sind die Anforderungen an Stallgebäude der Zukunft zu sehen, die den Anforderungen von Milchkühen im Hinblick auf Komfort und Klima gerecht werden.

B. Diese Arbeit hat gezeigt, dass es eine Fülle von Informationen über das Design, die Materialien und die Konstruktion von Gebäuden zur Rinderhaltung gibt. Die Arbeit liefert für Betriebsleiter, die immer wieder Probleme mit der Umgebung für Rinder in den Gebäuden haben, wichtige Grundlagen zur Verbesserung der Milchviehhaltung. Viele Betriebsleiter beschäftigen sich bislang kaum mit diesen Aspekten und diskutieren diese weder mit anderen Betriebsleitern, Beratern, Agrarwissenschaftlern, Bauunternehmern noch Zulieferern. Klärungsbedarf besteht vor allem im Hinblick auf die Anforderungen der Tierbestände, die typischen Eigenschaften von Materialien sowie die baulichen Standards und Viehhaltungsvorschriften (Tierschutz etc.).

C. Viele neue Material- und Konstruktionsentwicklungen zielen auf die Kostenreduzierung für Wohngebäude ab. Oft sind die Gebäudegrößen an reguläre Gebäude angepasst. So versuchen Bauunternehmer Kosten zu minimieren und Synergien aus beiden Märkten (Wohnungsbau und Stallbau) zu schaffen. Bedauerlicherweise wurden diese Entwicklungen nur sehr selten unter realen landwirtschaftlichen Bedingungen getestet und oft haben die Entwickler nur wenige Erfahrungen mit den relevanten Materialien und Konstruktionsmethoden. Zweifelsohne sind es die Tiere, die unter diesem Aufmerksamkeitsdefizit besonders leiden, da sie unter den schlechten Bedingungen leben müssen. *Daher soll diese Arbeit moderne Lösungen und Alternativen für den Bau von Milchviehställen in ariden und semiariden Gebieten darstellen und aufzeigen, welche Möglichkeiten sich für die Absenkung der Stallinnentemperatur durch sachgerechte und angepasste Planung unter Verwendung von „natürlichen Baumaterialien“ bei „freier Lüftung“ anbieten.*

D. Die in der Arbeit aufgezeigten drei Varianten sollen zeigen, ob konstruktive Lösungen mit geringen Unterhaltungskosten eine Möglichkeit bieten, in ariden und semiariden Gebieten Milch zu akzeptablen Herstellungskosten zu produzieren. Mit Hilfe von Literaturauswertungen, Temperaturmessreihen, Modellversuchen und Strömungsberechnungen wird das hier beschriebene Stallgebäude in Massivbauweise, mit einer „halboffenen“ Variante und einer Leichtbaukonstruktion im Hinblick auf ihre Wirkung und Effizienz verglichen.

E. Beim Entwurf und Bau von Milchviehställen müssen bestimmte Planungsgrundsätze und Hauptforderungen der Milchviehhaltung beachtet werden. Bei Neubauten ist die Aufgabe des planerstellenden Architekten, ein Höchstmaß der mit dem Bau verbundenen Zielsetzungen zu erreichen, wesentlich leichter zu lösen.

F. Zur Energieeinsparung müssen die passiven Methoden für Stallkühlung verwendet werden. Diese Maßnahmen werden bereits in Wohngebäuden eingesetzt, so dass sie lediglich weiterentwickelt werden müssen, um sie in Stallgebäuden einsetzen zu können.

G. Lüftung und Kühlung der Milchviehställe müssen in den heißen Klimazonen feste Bestandteile der Gebäudetechnik sein, weil eine kontrollierte Klimaführung großen Einfluss auf die Leistung und das Wohlbefinden der Tiere hat. Eine gute Luftqualität und angemessene Temperaturen im Tierbereich sind neben dem genetischen Potenzial und einer bedarfsgerechten Fütterung die wichtigsten Einflussfaktoren auf den Erfolg im Stall.

H. Die Stallgebäude müssen an die bebaute Umgebung und die Landschaft angepasst werden. Ein neues Gebäude sollte in den Proportionen, also in seinen äußeren Maßverhältnissen von Länge, Breite und Höhe, im Größenverhältnis des Dachkörpers zum vom Dach bedeckten Gebäudeteil, in der Dachneigung und im Dachdeckungsmaterial sowie in der Himmelsrichtung, in der Wahl der Baumaterialien und der Farbgebung an die den Neubau unmittelbar umgebenden Gebäude des Hof-, Nachbarschafts- oder Siedlungsverbandes angepasst werden.

I. Für das Bauen auf dem Land ergeben sich dabei sehr bedeutende, vielfältige und schwierige Probleme. Die vorhandenen oder neu zu errichtenden Gebäude und Anlagen sind so zu gestalten, dass darin von den Rindern hohe Leistungen erzielt werden können. Außerdem müssen sie den Einsatz der Technik unterstützen, aber auch weitgehend die zukünftige Entwicklung der Produktionsverfahren berücksichtigen. Die richtige Lösung dieser Aufgaben erfordert umfassende Kenntnisse der Zusammenhänge zwischen *Landwirtschaft*, *Mechanisierung* und *Bauwesen*.

J. Um die Stallgebäude optimal planen und bauen zu können, aber auch um zu einer günstigen baulichen Lösung zu kommen, sind Kenntnisse über die allgemeinen landwirtschaftlichen Grundlagen und über das Bauwesen und die regionalen klimatischen Verhältnisse erforderlich. Man muss zuerst wissen, unter welchen klimatischen Bedingungen die Tiere gehalten werden sollen und mit welchem Stall- und Haltungssystem. Es muss auch klar sein, welche Futterarten und -mengen eingelagert werden sollen, welche Arbeitsverfahren angewandt werden sollen sowie welche technischen Hilfsmittel zur Verfügung stehen. Jede Gebäudeplanung erfordert somit ein sorgfältig überlegtes Raumprogramm, das einschließlich der erforderlichen Nebenanlagen nach dem Betriebsplan aufzustellen ist. Dabei sind die zukünftige Entwicklung des jeweiligen Betriebes und die Weiterentwicklung der Verfahren zu berücksichtigen.

K. Heutzutage werden in den hochentwickelten Ländern viele Anforderungen an die Ausführung von Haltungssystemen durch die Erfordernisse der landwirtschaftlichen Nutztiere (tiergerechte Haltungssysteme) bestimmt. In den Entwicklungsländern wurden kleine Fortschritte bei den landwirtschaftlich genutzten Gebäuden von Landwirten, Bauunternehmern, Zulieferern, Landwirtschaftsberatern, Tierschützern und anderen realisiert. Grundsätzlich müssen zukunftsweisende Stallbaukonzepte die Aspekte Gesundheit der Tiere, betriebliches Management, Baumaterialien, Konstruktionstechnologie, Energie, Luftverschmutzung und Ökonomie beinhalten.

L. Zur Erhöhung der Effektivität der syrischen Rinderhaltung sind neben der Futter- und Wasserbereitstellung sowie der Verbesserung des genetischen Leistungsvermögens die klimatischen Einflüsse im Komplex der leistungssteigernden Maßnahmen stärker zu berücksichtigen. Eine weitere Möglichkeit, die neben der Verbesserung der Umgebungsbedingungen für Rinder in neuen Ställen besteht, ist die, dass lokale Rassen mit leistungsstarken gekreuzt werden. So kann langfristig das Potenzial der Herde gesteigert werden, ohne die Vorteile der lokalen Rassen zu verlieren.

KAPITEL

9

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit soll neue Möglichkeiten für den Bau von Milchviehställen in ariden und semiariden Gebieten aufzeigen. Insbesondere sollen Vorschläge erarbeitet werden, damit die Stallinnentemperatur abgesenkt werden kann; dies soll erfolgen durch eine den Anforderungen (von Tier und Mensch) angepasste Planung, unter Verwendung von „natürlichen Baumaterialien“ bei „freier Lüftung“. Damit soll die Arbeit dazu beitragen, Grundlagen für die Errichtung neuer Milchviehställe in Syrien und ähnlichen Ländern zu schaffen.

Die Arbeit gliedert sich in drei Teile. Der erste Teil beinhaltet Theorie, Analyse und Ausgangssituation. Er besteht aus vier Kapiteln (Nr. 2, 3, 4 u. 5) und umfasst zahlreiche Information zu den Themen: Milchviehhaltung weltweit, Grundlagen der Milchviehhaltung, Grundsätze von Stallbauten, Methoden zur Stall- und Gebäudekühlung. Der zweite Teil (Kapitel 6) umfasst einige experimentelle bauphysikalische Untersuchungen. Im dritten Teil (Kapitel 7) werden die gewonnenen Erkenntnisse in Form von Entwürfen für moderne Ställe in ariden und semiariden Gebieten (z.B. Syrien) umgesetzt.

Kapitel 1: Einführung

Der Mangel an Milch und Milchprodukten stellt für die Länder in ariden und semiariden Gebieten ein Problem für die Ernährung der Völker dar. So beträgt die Milchproduktion in Syrien ca. 100 kg/Person und Jahr; der Vergleichswert in Deutschland liegt bei 345 kg. Die Milchleistung einheimischer Rassen liegt um ca. 70 % unter derjenigen von europäischen Hochleistungskühen. Die geringe Eigenproduktion bei Milch ist nicht nur auf die geringe Milchleistung der Tiere, sondern auch auf die kostenaufwendige Futterproduktion und schlechte, vorhandene Stallbausysteme zurückzuführen. Um den Eigenbedarf zu decken, importieren diese Länder Milch und Milchvieh aus Europa. Die hohen Sommertemperaturen in den Ländern des Nahen Ostens – mit Tagesdurchschnittswerten von rund 33 °C – stellen für eine Hochleistungskuh ein großes Problem dar. Es sind deutliche Leistungseinbußen zu verzeichnen. Die Milchleistung fällt bei Temperaturen über 24 °C um ca. 30 % ab. Der optimale Leistungsbereich liegt bei Temperaturen zwischen 0 und 20 °C. Diesen Temperaturbereich durch gezielte bauliche Maßnahmen zu erreichen, stellt für Betriebsleiter und Planer in dieser Region eine sehr schwierige Aufgabe dar.

Kapitel 2: Allgemeiner Überblick der Milchviehhaltung weltweit

Dieses Kapitel besteht grundsätzlich aus zwei Abschnitten. Der erste Abschnitt beschreibt die Bedeutung der Rinder für den Menschen. Der zweite Abschnitt beschäftigt sich mit der weltweiten Milchviehhaltung. Er umfasst die Verteilung der Rinderhaltung, vorherrschende technologische Verfahren der Rinderproduktion und Stall- und Haltungssysteme in der Welt.

Die Rinder haben je nach Region eine unterschiedliche religiöse, soziale und wirtschaftliche Bedeutung. Die wirtschaftliche Bedeutung liegt in der Milch- und Fleischerzeugung. Die Pro-

duktion von Kuhmilch hat im Hinblick auf die Deckung des Bedarfs der Menschen an tierischem Eiweiß im Weltmaßstab eine große Bedeutung. In nahezu allen Ländern der Erde wird Milch erzeugt, aber in vielen Ländern, die insbesondere in ariden und semiariden Gebieten liegen, ist die Milchviehhaltung und Milchproduktion knapp. Um den Eigenbedarf zu decken, importieren diese Länder Milch und Milchprodukte aus den Haupterzeugerregionen, z.B. aus Europa.

Kapitel 3: Analyse der Gegebenheiten der Rinderhaltung unter den Klimabedingungen Syriens

Dieses Kapitel besteht aus zwei Abschnitten. Im ersten Abschnitt werden vor allem die Rinder- und Milchproduktion, Verbreitung der Rinderbestände und übliche Stallsysteme in Syrien beschrieben. Für die Auswertung der bestehenden Stallgebäude in Syrien werden zwei Stallgebäude analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Milchviehhaltungsgebäude in Syrien nicht dem geforderten Stand entsprechen und nicht für europäische Kühe geeignet sind. In konventionell errichteten, geschlossenen Stallgebäuden, die aus Stahlbeton gebaut sind, führen die Erwärmung durch Sonneneinstrahlung, die Wärmeabgabe der Tiere und die Schadgasentwicklung durch Exkremente zu einem äußerst problematischen Stallklima. Bei Offenställen liegt die Innentemperatur oft nur wenig unter, häufig jedoch über der Außenlufttemperatur. Deshalb müssen die umgebauten oder die neuen Ställe diesen europäischen Kuhrassen angepasst werden. Um eine optimale Milchleistung der importierten Kühe zu erreichen, müsste ein Wohlbefinden im Raumklima geschaffen werden. Die Stalltemperatur darf 24 °C nicht überschreiten und die Luftfeuchtigkeit muss zwischen 60 und 80 % liegen.

Im zweiten Abschnitt wurden die klimatischen Gegebenheiten eines Standorts in Syrien (Region Homs) als neutralem und zentralem Gebiet analysiert. Seine wesentlichen Eigenschaften sind:

- Hohe Lufttemperaturen im Sommer von bis zu 40 °C;
- hohe Luftgeschwindigkeit von bis zu 8 m/sec;
- deutliche Temperaturschwankungen von bis zu 15 K.

Dieser Abschnitt dient als Grundinformationen für die Entwürfe der Versuche und Lösungsvorschläge.

Kapitel 4: Bauliche Grundsätze für Stallbauten

Dieses Kapitel unterteilt sich in zwei Kapitel, wobei das erste über die allgemeinen Grundlagen der Milchviehhaltung, die optimalen Stall- und Haltungssysteme, Funktionsbereiche, Einflussfaktoren auf Milchleistung, Hitzestress und die bekannten Stalllüftungsmethoden Auskunft gibt. (Dieser Abschnitt wurde der Dissertation wegen des großen Umfangs im Anhang beigelegt.) Der zweite Abschnitt umfasst die baulichen Grundsätze der Rinderstallbauten. Hier wurden die Körpermaße der Rinder, die Bewegungsfläche, bauliche Maßnahmen und Grundsätze für jeden Funktionsbereich beschrieben. Schließlich wurden der Raumbedarf für die Maschinen und Transportachsen erläutert. Dieses Kapitel enthält die Grundlagen der tiergerechten Haltung in modernen Stallgebäuden, die in den Lösungsvorschlägen eingesetzt wurden.

Kapitel 5: Methoden zur Hitzestressvermeidung und zur Stall- und Gebäudekühlung

Dieses Kapitel beschreibt und analysiert die Maßnahmen, die zur Reduzierung der Wärmebelastung und Vermeidung von Hitzeschäden durch Förderung und Erleichterung der Wärmeabgabe

des Menschen und der Tiere beitragen können. Das Kapitel umfasst zwei Abschnitte; Der erste Abschnitt beschäftigt sich mit baulichen Maßnahmen zur Hitzestressvermeidung. Dabei wurden bauliche Maßnahmen zum Schutz vor Sonnenstrahlung und Vermeidung des Wärmedurchgangs beschrieben; diese Maßnahmen umfassen z.B. Dachbeschattung, Dachform und -konstruktion, doppelschalige Bauhülle, Dachbegrünung usw. Als Schutz vor der Sommerhitze müssen die Außenhülleflächen behandelt werden. Materialauswahl der Außenwände und Dachgestaltung haben einen großen Einfluss auf die Innentemperatur eines Gebäudes. Durch die Beschaffenheit der Oberflächen, Auswahl der Baumaterialien und Farbe der Außenwände kann eine extreme Außentemperatur vermieden werden. Im zweiten Abschnitt werden die passiven und aktiven Systeme für Kühlung der menschlichen und tierischen Gebäude dargestellt. Für die Stallkühlung in ariden und semiariden Gebieten können die passiven Kühlungssysteme verwendet werden. Die alten und traditionellen Methoden für die Wohngebäudekühlung können weiterentwickelt werden, um die Stallgebäude unter den schwierigen Bedingungen zu kühlen. Diese Maßnahmen wie z.B. Innenhöfe, Windfänge, Verdunstungskühlung und Erdwärmetauscher können für die Stallkühlung verwendet werden.

Kapitel 6: Praktische Versuchsausführung zu Baumaterialien

Der praktische Teil der Arbeit umfasst die experimentellen bauphysikalischen Untersuchungen, die Beschreibung der Versuchsdurchführung und die Auswertung der Ergebnisse.

Folgende Ziele wurden mit den Versuchen verfolgt: (1) Den Einfluss des Strahlungs-/Auftreffwinkels der Sonnenstrahlung auf die Oberflächentemperatur eines Gebäudes, (2) den Wärmetransport, d. h. die Zeitdauer für die Temperaturanpassung eines Baustoffes an die Umgebungstemperatur und (3) die Wärme- oder Kältespeicherung unterschiedlicher Baustoffe zu untersuchen. Auf dieser Grundlage sollten Aussagen darüber getroffen werden, ob es möglich ist, durch Materialwahl und Oberflächenflächengestaltung die sehr unterschiedlichen Tagestemperaturen zu kompensieren. Die Versuchsanstellungen wurden in der Klimakammer und im Außenluftbereich durchgeführt.

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, dass es durchaus möglich ist, durch baulich konstruktive Maßnahmen das Stallklima in ariden und semiariden Gebieten positiv im Sinne einer gesteigerten Milchleistung der Kühe zu beeinflussen. Eine sachgerechte Materialauswahl und überlegte Dimensionierung der Dicke von massiven Stallaußenwänden unter Berücksichtigung der geographischen Ausrichtung können dazu beitragen, dass auch in diesen Regionen Hochleistungskühe ohne permanenten hohen technischen Aufwand und ohne Einbußen bei der Milchleistung gehalten werden können. Durch die Verwendung von massiven, schweren Wand- und Dachbaustoffen ist es möglich, den Wärmeübergang von der Oberfläche der Gebäudehülle in das Stallinnere von der Tagesmitte bis in die kälteren Abend- und Nachtstunden zu verzögern und so die Erwärmung der Stallluft zu nivellieren.

Kapitel 7: Planerische Lösungsvorschläge für moderne Milchviehhaltung

In diesem Teil wurden die zusammengefassten Ergebnisse aus dem ersten Teil (Analysen und Grundlagen) und die gewonnenen Ergebnisse der Untersuchungen in Entwurfs- und Planungsprinzipien der Stallbauten umgesetzt. Das Kapitel besteht aus vier Abschnitten:

- A.** Dieser Abschnitt beschreibt die Entwurfsgrundlagen für Stallbau und Planung, Gestaltung der landwirtschaftlichen Gebäude und Funktions- und Raumprogramm.
- B.** Hier wird die Ausgangssituation der Lösungsvorschläge dargestellt. Der Abschnitt zeigt den optimalen Standort für die zukünftigen Milchviehbetriebe in Syrien aus verschiedenen Blickwinkeln wie der Zentralität der geographischen Lage und der Bevölkerungsdichte, der verfügbaren Futtergrundlage, dem Vorhandensein von Wasser, Regen und Weide. Dieses Kapitel enthält Vorschläge zum neuen Modul, der sich aus Abmessungen von Mensch, Kühen und landwirtschaftlichen Maschinen ableitet.
- C.** Dieser Abschnitt besteht aus drei Lösungsvorschlägen für moderne Milchviehhaltung. Mit Hilfe von Literaturlauswertungen, Temperaturmessreihen, Modellversuchen und Strömungsberechnungen werden die entwickelten Stallmodelle in Massivbauweise mit einer „halboffenen“ Variante und einer Leichtbaukonstruktion im Hinblick auf ihre Wirkung und Effizienz verglichen. Die drei Varianten sollen zeigen, ob konstruktive Lösungen mit geringen Unterhaltungskosten eine Möglichkeit bieten, in ariden und semiariden Gebieten Milch zu akzeptablen Herstellungskosten zu produzieren.
- D.** Dieser Abschnitt umfasst die Berechnungsverfahren für Belüftung und Kühlung. Es werden hier zuerst die Wärmeabgabe der Kühe, der Luftvolumenstrom, die Lüftungsrate sowie die Zuluftöffnungen und der Erdwärmetauscher berechnet.

Die Kühlungs- und Lüftungsmethoden der Stallgebäude hängen direkt von dem Umgebungsklima ab. In günstigen Zeiten, wenn die Außenlufttemperatur kleiner als die Stalllufttemperatur ist, wird die freie Lüftung genutzt. Aber an den extrem heißen Tagen kann die natürliche Lüftung allein nicht die Belüftung und Kühlung der Rinderställe schaffen, daher muss sie mit anderen Methoden kombiniert werden, wie z.B. technischen aktiven und passiven Maßnahmen. Einige Methoden könnten sein:

- Das Gelände so modellieren, dass der Wind eingeleitet und die Luftgeschwindigkeit erhöht wird - unter Berücksichtigung des Maximums der Luftgeschwindigkeit, welche die Kühe vertragen können.
- Gebäude und Grundriss an der passende Windrichtung orientiert planen.
- Bestmögliche Verschattung, um die solare Strahlung zu minimieren.
- Verschattung des Gebäudes, z. B. durch ein Zelt zwecks Minimierung der Transmissionsgewinne.
- Nutzung von Nachtlüftung und Speichermasse.
- Adiabate Kühlung: Kühlung durch Wasserverdunstung. Dies kann durch Zuluft oder Wasserflächen geschehen.
- Bauteilkühlung (Strahlung), bessere Energiekennwerte der Kühlanlage.
- Windfänge und Erdwärmetauscher.

Diese Arbeit ist Grundlage für die Planung produktiver, wirtschaftlicher, tierartgerechter und ökologischer Stallbauten für die Milchviehhaltung in ariden und semiariden Gebieten. Sie überträgt die Grundlagen der europäischen Milchviehhaltung auf Entwicklungsländer unter Berücksichtigung der dort vorherrschenden Rahmenbedingungen im Hinblick auf Klima, Fütterung, vorhandene Baustoffe und weitere Gegebenheiten.

KAPITEL

10

Zitierte Literatur und Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

10.1 Zitierte Literatur

10.1.1 Bücher und Artikel

ABDELHAFEEZ, M. A.; MARZOOK, M. A. 1991 Development and Evaluation of A Natural Evaporative Cooling System for Dairy Cow Sheds in Saudi Arabia. I- Design and Evaluation of Wind Catching Tower for Evaporative Cooling of Dairy Shed under Hot and Dry Climatic Conditions. Arab Gulf J. Scient. Res. Band 9, Heft 3, King Faisal Universität, Saudi Arabien, pp. 41-53.	[K5]
AGAS, G.; MATSAGGOS, T.; SATAMOURIS, M. 1991 On the use of the atmospheric heat sinks for heat dissipation, in Energy and Building. Volume 17, P. 325, 327.	[K5]
AKRAA, N. 1998 Untersuchung der spezifischen Anforderungen an Wohnbauten ländlicher Strukturen in ariden Entwicklungsländern unter besonderer Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse. Diss, Cottbus Technik Universität.	[K1,5]
ALBERS, K.-J.; TRÜMPER, H.; HAIN, K. 1991 Erdwärmetauscher. Ergebnisbericht zum Forschungsauftrag BI5-800 189-108 des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Univ. Dortmund, FG Technische Gebäudeausrüstung, IRB-Verlag, Dortmund.	[K5]
ALEX, M. 1985 Klimadaten ausgewählter Station des Vorderen Orients. Dr. Ludwig Reichert Verlag, Wiesbaden, S.127.	[K1,3]
AL-TURKI, A. M.; ZAKI, M. 1991 Energy saving through intermittent evaporative roof cooling, in Energy and Building. Volume 17, P. 38.	[K5]
AMES, L. 1995 Freestall Housing of Livestock. Iowa State University, University Extension.	[A1]
AMMANN, H.; HERZOG, D.; HILTY, R. 2002 Raumbedarf für Remisen und Einzelmaschinen. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Bericht Nr. 590, Tänikon - Schweiz.	[K4]
AMMANN, H.; HILTY, R. 1989 Raumbedarfszahlen für Garagen, Remisen und Einzelmaschinen. Eidgenössische Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, FAT-Blätter für Landtechnik Nr. 241, März 1989, Tänikon - Schweiz.	[K4]
ANDREAE, B. 1983 Agrargeographie - Strukturzonen und Betriebsformen in der Weltlandwirtschaft. Walter de Gruyter Verlaghandlung, Berlin.	[K2]
ANDREAE, B. 1972 Landwirtschaftliche Betriebsformen in den Tropen. Hamburg, Berlin, Parey.	[K2]
ARMSTRONG, D. V. 1994A Heat stress interaction with shade and cooling. Jour. Dairy Science, 77: 2044-2050.	[K5]
ARMSTRONG, D. V. 1994B Nutrition and Heat Stress, Heat Stress Interaction with Shade and Cooling. Journal of Dairy Science Vol. 77, No. 7. USA.	[A1]
ARMSTRONG, D. V. 1993 Environmental modifications to reduce heat stress. Western Large Herd Management Conference, Las Vegas, Nevada, P. 7.	[A1]
ARONIN, J. E. 1953 Climate and Architecture. New York.	[K5]
AUBEL, E.; BUSSEMAS, R. 2004 Baulösungen für ökologische Milchviehhaltung. KTBL-Schrift Nr. 426, Darmstadt.	[K4]
AUMANN, A.; KORTUS, O. 2007 Passive Kühlung mit Luft. Nachdiplomstudium. Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, Muttenz-Schweiz.	[K5]
A'ZAMI, A. 2005 Badgir in traditional Iranian architecture. International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", Santorini, Greece.	[K5]
BANSAL, N. K.; GERD, H.; GERNOT, M. 1994 Passive Building Design. A Handbook of Natural climatic Control, Elsevier Science B. V., Amsterdam, S.127.	[K5]

BARNWELL, R. 2002 Effective Temperatures. COBB-Vantress, Inc; Pittsburg, Texas.	[K7]
BARTOLOMEU, D. 2005 Performance of an earth-tube heat exchanger in swine building. Bundesanstalt für Landwirtschaft (FAL), Poster in Internationale Tagung für Bau, Technik und Umwelt am 02.-03. März 2005, Braunschweig.	[K5]
BARTUSSEK, H.; LENZ, V.; OFNER-SCHRÖCK, E.; WÜRZL, H.; ZORTEA, W. 2008 Rinderstallbau. 4. Auflag (2. Auflage 1996), Leopold Stocker Verlag, Graz - Österreich.	[A1, K4,7]
BARTUSSEK, H. 2000 Haltungssysteme und Stallbau für Rinder im Biobetrieb. (Umsetzung der neuen EU-Vorschriften - Schwerpunkt Kälber) Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 6. - 8. Juni 2000. Irdning – Österreich.	[A1,K4]
BARTUSSEK, H. 1996 Tiergerechtheitsindex für Rinder. TGI 35 L/1996 – Rinder, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft BAL - Gumpenstein, Irdning – Österreich.	[A1]
BEEDE, D. K. 1992 Water for dairy cattle, Large Herd Management. H.H. Van Horn and C.J. Wilcox, eds. Management Services, American Dairy Science Assoc., Champaign, IL.	[K5]
BEGA, S. 2006 Der Neubau des Umweltbundesamtes in Dessau. Gebäudetechnik, Beratende Ingenieure, April 2006.	[K5]
BELITZ, H.-D.; GROSCH, W. 1992 Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 4. Aufl., Springer, Berlin.	[K2]
BENNINGER, D. 1985 Bauliche Anlagen für melken und Milchlagerung. Hrsg. Beförderung Landwirtschaft, Baubriefe Landwirtschaft Heft 27, Landwirtschaftsverlag, Münster - Hilstrup.	[K4]
BERMAN, A. 2004 Tissue and External Insulation Estimates and Their Effects on Prediction of Energy Requirements and of Heat Stress. Journal of Dairy Science, Vol. 87, No. 5., USA.	[A1]
BIANKA, W. 1971 Die Anpassung des Haustieres an seine klimatische Umgebung. Schweiz. Ldw. Forschung, 10, 155-205.	[A1]
BIANCA, W. 1968 Neuzeitliche Ergebnisse und Aufgaben der Bioklimatologie bei Haustieren. Tierzüchter (20), S. 438-442.	[A1]
BLANCKENBURG, v. P. 1982 Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern. 2. Aufl., Stuttgart.	[K2]
BLÜMEL, E.; FINK, C. 2003 Gebäudekühlung über Erdreichwärmetaucherpassive Kühlkonzepte. AEE INTEC Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Institut für Nachhaltige Technologien, Gleisdorf.	[K5]
BOCKISCH, F.-J.; GEORGES, M.; WIELAND, H. 2007 Untersuchungen zur Wärmeleitung und –speicherfähigkeit von Wandbaustoffen. 8. Internationale Tagung, Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (BTU), 09.-10. Oktober, Bonn.	[K6]
BOCKISCH, F.-J.; GEORGES, M.; HAAKE, K.-W 2006 Thermal conduction in solid walls and influence of inclination of roof on the interior temperatures. The XVIth CIGR World Congress Agricultural Engineering for Better World (CIGR), 03.-07. September 2006, Bonn	[K6]
BOCKISCH, F.-J. 2005 Entwicklungstendenzen in der Bau- und Verfahrenstechnik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 7. Internationale Tagung, Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (BTU), 01.-03. März, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.	[K5]
BOCKISCH, F.-J. 1990 Quantifizierung von Interaktionen zwischen Milchkühen und deren Haltungsumwelt als Grundlagen zur Verbesserung von Stallsystemen und ihrer ökonomischen Bewertung. Wissenschaftlicher Fachverlag, Gießen. S. 161-162.	[K3]
BOCKMANN, H.- C.; JUNGE, W.; KALM, E. 1997 Stickstoffbilanzen von Einzelkühen in der Winterfutterperiode. Beiträge der „Ökologische Rinderhaltung“, Universität Kassel, Fachgebiet Nutztierethologie und artgemäße Tierhaltung, Witzenhausen.	[A1]
BOEGE, H. 1998 Planungskonzepte für strohlose Ställe und Güllelagerung. Hrsg. Beförderung Landwirtschaft. Baubriefe Landwirtschaft Heft 39. Landwirtschaftsverlag, Münster- Hilstrup.	[K4]
BOGNER, H. et. al 1978 Rindfleischproduktion. Ulmer, Stuttgart.	[K4]
BORCHERT, K.-L. 1970 Die innere Oberflächentemperatur von Wänden, Decken und Fußböden als Kriterium der Wärmedämmung und des Feuchtigkeitsschutzes raumumschließender Bauteile für Stallräume und Aufenthaltsräume für Menschen. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 6, Braunschweig.	[K1]
BÖHME, H. 1979 Das Amazonasgebiet als möglicher Standort für eine rentable Rinderproduktion. Landbauforschung, Braunschweig 29.	[K2]
BOßL, F. J. (–)	[K5]

Verringerung von Hitzestress bei Milchkühen in den heißen Sommermonaten. www.agrarheute.com/index.php?redid=153298	
BROUK, M. J.; SMITH, J. F.; HARNER, J. P. 2003 Effect of utilizing evaporative cooling in tie-stall dairy barns equipped with tunnel ventilation on respiration rates and body temperatures of lactating dairy cattle. 5th Int. Dairy Housing Conf. Am. Soc. Agric. Eng. Fort Worth, TX. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI. Pages 312–319 in Proc.	[K5]
BROWN, D. L. 1960 Die Nguni-Rinderrasse. II. Mortalität, Verhalten und Rindfleischproduktion. Empire, J.exp. Agri., 109.	[A1,K3]
BRUCE, J. M. 1986 Lower critical temperatures for housed beef cattle. Farm Building Progress 84, p. 23-28.	[A1]
BUDDE, H. 1985 Die bauliche Voraussetzung für die Grundfutturvorgabe. Hrsg. Beförderung Landwirtschaft. Baubriefe Landwirtschaft Heft 27. Landwirtschaftsverlag, Münster- Hilstrup.	[K4]
BÜSCHER, W. 2005 Wärmestress der Hochleistungskühe in der warmen Jahreszeit minimieren. Rinderpraxis, Nutztierpraxis Aktuell.	[A1]
BÜSCHER, W. 2004A Zielkonflikte zwischen Tierschutz, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit - Konsequenzen für technische Entwicklungen. In: 15. Wissenschaftliche Fachtagung: Ressourcenschonende Grünlandnutzung. 4. Februar 2004, Tagungsband, Nr. 130, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.	[K5,7]
COOK, N. B.; MENTINK, R. L.; BENNETT, T. B.; BURGI, K. 2007 The Effect of Heat Stress and Lameness on Time Budgets of Lactating Dairy Cows. J. Dairy Sci., 90(4), 1674-1682.	[A1]
DAMM, T. 1993 Stallbau - Planungsgrundsätze, Planungsdaten und Planungsbeispiele für Neu- und Umbauten. Münster-Hilstrup.	[A1,K4]
DANZ, E. 1967 Sonnenschutz. Verlag Gerd Hatje, Stuttgart.	[K5]
DEPPE, H. C. 1997 Das Rind: verehrt – verspeist – verachtet. Herausgeber: Landkreis Osterholz. Verlag: H.M. Hauschild, Bremen, S. 23-24.	[K2]
DIBOWSKI, H.-G. 2003 Auf Basis umfangreicher Messdatensätze experimentell und numerisch validierte Regeln zur optimierten Auslegung von Luft-Erdwärmetauschern. Diss. Uni Kassel.	[K5]
DIBOWSKI, G. 2001 Oberflächennahe thermische Nutzung des Untergrundes durch horizontale Luft-Erdwärmetauscher (L-EWT). OTTI Fachseminar Oberflächennahe Geothermie, Freising.	[K5]
DREYFUS, J. 1966 Le Komfort dans l'Habitation en Pays Tropical (Problèmes de ventilation). Editions Eyrolles, 6 Boulev, Saint-Germain, Paris.	[K5]
EICHLER, F.; ARNDT, H. 1989 Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz. Bauverlag, S. 23, 24, 114, 174, 226.	[A2, 3]
EL BANA, SADEK 1968 Einfluss des Klimas auf den Wohnungs- und Städtebau in ariden Gebieten. Diss. TU Braunschweig.	[K5]
ESMAY, M. L. 1978 Principles of animal environment, Textbook edition. AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut, pp. 33-34, 150-157, 197-211, 250-253.	[K5]
FATHY, H. 1986 Natural Energy and Vernacular Architecture, Principles and Examples with Reference to hot arid climates. The University of Chicago Press, Chicago.	[K5]
FISCHER, B. 2004 Bei Hitzestress im Sommer die Futteraufnahme sichern. 18. Tag des Milchviehhalters in Sachsen-Anhalt.	[K5]
FISCHER, B.; HELM, L. 2004 Hitzestress im Milchviehstall. Land & Forst, 25, 28 – 30	[A1]
FRANCIS, E. 1984 Cooling with Earth Tubes. Solar Age, (9:1), pp. 30-33.	[K5]
FRANK, W. 1975 Raumklima und Thermische Behaglichkeit. Berichte aus der Bauforschung, Heft 104, Ernst & Sohn, Berlin.	[K5]
FÜRSCHUSS, N.; KONRAD, S.; BOXBERGER, J.; HÖRNING, B.; SPENGLER-NEFFE, A.; RIST, M. 2004 Richtlinie für artgemäße Nutztierhaltung. Teil 1: Rinder. Stiftung für Tierschutz VIER PFOTEN, Wien, Österreich.	[A1,K4]
GEBRESELASSIE, M. 2000 Verfahrenstechnische Lösungen für die Milchproduktion bei standortferner Futterstroherzeugung. Diss. Humboldt-Universität, Berlin, S. 13.	[K1]
GEIGER, R. 1961 Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. Auflage, Braunschweig.	[K5]
GEORG, H. 2007 Dachbegrünung gegen den Sommer-Hitzestress von Milchkühen. 62 Landtechnik 5/2007.	[K5]

GEORGES, M.; HAAKE, K.-W.; BOCKISCH, F.-J. 2006 Planning study for buildings for dairy cows in arid and semi-arid regions. The XVIth CIGR World Congress Agricultural Engineering for Better World (CIGR), 03. -07. September.2006, Bonn.	[K6]
GEORGES, M.; HAAKE, K.-W.; BOCKISCH, F.-J. 2006 Temperaturgestaltung in Milchviehställen, Landtechnik 5, H 12772, S. 278-279.	[K6]
GEORGES, M.; HAAKE, K.-W.; BOCKISCH, F.-J. 2005 Gebäude zur Milchviehhaltung in ariden und semiariden Gebieten, Landtechnik 5, H 12772, S. 290-291.	[K6]
GIVONI, B. 1991 Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems. in Energy and Building, Volume 17.	[K5]
GOOCH, C. A.; STOWELL, R. R. 2003 Tunnel ventilation for freestall facilities – design, environmental conditions, cow behavior, and economics. Pages 227–234 in Proc. 5th International Dairy Housing Conference. Am. Soc. Agric. Eng. Fort Worth, TX. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.	[K5]
GREGENSEN, M. 1977 Untersuchungen zur Produktivität in der Weltrinderhaltung. Fachbereich Agrarwissenschaft, Diss. Universität Kiel.	[K2]
GROTE, D.; GÜTTLER, J.; JÄGER, K.-H.; KÖNNEKE, K.; KUHLFAHL, B.; MAIWORM, K.; NOACK, U.; WEGERT, J.; WIMMERS, C. 2006 Stallklimaprüfung in der landwirtschaftlichen Tierhaltung Empfehlungen der Länderarbeitsgruppe Stallklima. Sachsenanhalt. http://www.verbraucherschutz.sachsen-anhalt.de/veterinaer/j/stallklimaueberpruefung.pdf	[A1]
HAAKE, K.-W.; BOCKISCH, F.-J. 2003 Untersuchungen zu Auswirkung der Dachflächen- und Wandgestaltung auf Temperaturentwicklungen im Gebäude. 6. Internationale Tagung, Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 25.-27. März Vechta, Deutschland.	[K6]
HAIDN, B.; HEIDENREICH, T.; SIMON, J. 2008 Hitzestress im Milchviehstall. Institut für Landtechnik und Tierhaltung. LfL-Information, Grub.	[A1,K5]
HANEL, M. B. 1996 Raumluftrömung. C.F. Müller Verlag, Heidelberg.	[A1]
HANKE, R. 1983 Untersuchungen zum Einsatz von Ernterückständen des Zuckerrohrs in der Rinderfütterung in der Republik Kuba. Diss an Karl-Marx – uni Leipzig.	[K2]
HARNER, J. P.; MURPHY, J. P. 1998 Planning Cattle Feedlots. Kansas University, USA.	[K2]
HARTUNG, J. 1988 Zur Einschätzung der biologischen Wirkung von Spurengasen der Stallluft mit Hilfe von zwei bakteriellen Kurzzeittests. Fortschr. Ber. VDI- Reihe 15, Nr. 56	[A1]
HATEM, H. M.; SADEK, R. R.; SAMER, M. 2006 Effects of Shed Height and Orientation on Dairy Cows' Microclimate, Cooling System Efficiency and Milk Productivity. World Congress Agricultural Engineering for Better World (CIGR), 3. -7. September 2006, Bonn.	[K5]
HAUSLEITNER, A. 2002 Porenlüftung. BAL Gumpenstein, Abteilung für Stallklimatechnik und Tierschutz, Gumpenstein, Irdning.	[A1,K4]
HAUSLEITNER, A. 2001 Lüftungstechnik: Planungs-, Ausführungs- und Managementfehler. Gumpensteiner Bautagung, „Stallbau - Stallklima - Verfahrenstechnik“. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irdning – Österreich.	[K5]
HAUSLEITNER, A.; ZAINER, J. 1999 Messergebnisse und Erfahrungen mit Schotterspeichern. Gumpensteiner Bautagung, BAL Gumpenstein, Irdning.	[K5]
HEIDENREICH, T. 2008 Unterstützungslüftung, technische Möglichkeiten – Erfahrung in Milchviehbetrieben. Sächsische Landesanstalt Landwirtschaft, Freistaat Sachsen.	[A1]
HEIDENREICH, T. 2006 Klimagestaltung von Milchviehställen. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Agrarökonomie, Ländlicher Raum, Leipzig.	[K7]
HEIDENREICH, T. 2002 Lüftungsprobleme in Offenställen. Landtechnik 4, S. 228-229.	[K5,7]
HELLER, S. 2003 Anforderungen und Stallmasse für die Haltung von Nutztieren im biologischen Landbau in der Schweiz. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Schweiz.	[K4]
HERKNER, S.; Lankow, C.; Heidenreich, T.; Panzer, K. 2002 Mindestsommerluftvolumenströme für Hochleistungskühe. 57 Landtechnik 5., S. 286-287.	[K5]
HEYER, E. 1972 Witterung und Klima. Teubner- Verlagsgesellschaft, Leipzig.	[A1]
HILLMANN, G.; NAGEL, J.; SCHRECK, R. 1981 Klimagerechte und energiesparende Architektur. Verlag C. F. Müller, Karlsruhe. S. 70,186.	[K5]
HOLM, D. 1983 Energy conservation in hot climates. The Architectural Frass Limited, London. S. 41.	[K5]
HUBER, J. 1996	[K1]

Amelioration of Heat Stress in Dairy Cattle. In: Phillips C. (Ed.) Progress in Dairy Science, CAB International, Wallingford, UK, S. 211-243.	
HUHNKE, R. L.; MCCOWAN, L. C.; MERAZ, G. M.; HARP, S. L.; PAYTON, M. E. 2001 Determining the frequency and duration of elevated temperature-humidity index. Paper No. 01-4111. Am. Soc. Agric. Eng., Sacramento, CA.	[K5]
JABBOUR, Z. 1984 Städtebaulicharchitektonische Anforderungen an den Massenwohnungsbau in Homs-Syrien. Diss. an der TU Dresden.	[K3,5]
JAHNKE, H. G. 1982 Livestock production systems and Livestock development in tropical Africa. Kiel.	[K2]
JAKOB, R.; VAN CAENESEM, L. 1993 Flachsilo- Bau und Technik. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), FAT Bereich- te. Nr. 438, Tänikon - Schweiz.	[K4,5]
JAUSCHNEGG, H. 1994 Schätzung von Rumpflänge, Widerristhöhe und Schulterbreite auf der Basis des Gewichtes beim Rind. Institut für Nutztierwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, S. 64.	[A1]
JENTSCH, W.; DERNO, M.; WEIHER, O. 2001 Wärmeabgabe der Milchkühe in Abhängigkeit von der Leistung - eine Studie. Archiv für Tierzucht, Dummerstorf 44, 6, S. 599-610.	[A1]
JONES, M.; GERALD, A.; CHARLES, C. 1999 Verringern des Hitze-Drucks für Milchvieh. Virginia Technologie.	[A1,K5]
JORDAN, E. R. 2003 Effects of Heat Stress on Reproduction. J. Dairy Sci., 86(13_suppl), E104-E114.	[A1]
JOURDA UND PERRAUDIN 1992 Die Architektur von Jourda und Perraudin. in Solares Bauen: Stadtplanung-Bauplanung. Schempp, Dieter; Martin Kramper und Fred Möllring (Hrsg.), R, Müller, Köln.	[K5]
JUL, M. 1978 Dairy development un India: Part I World Anim. Rev. 24 (1977) 2-8; Part II World Anim. Rev. 25, 30-36.	[K2]
KALICH, J. 1970 Der Einfluss des Stallklimas auf die Leistung der Tiere. ALB, Heft 4.	[A1]
KAUFMANN, O.; LÜPFERT, T.; BRUNSCH, R. 1996 Rinderhaltung in Laufställen. Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 19.	[A1]
KAUFMANN, R.; KECK, M. 1997 Gestaltungshinweise für den Boxenlaufstall, FAT-Bericht 508, Tänikon – Schweiz.	[A1]
KECK, M.; ZÄHNER, M. 2004 Minimalställe für Milchkühe bewähren sich. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, FAT Berichte, Nr. 620, Tänikon – Schweiz.	[A1,K4]
KELLER, B. 1997 Klimagerechtes Bauen. Teubner-Verlag, Stuttgart, S. 58.	[K6]
KIRSCHNER, K. et al. 1976 Klimatechnik in der Tierproduktion. 1. Verlage, VEB Verlag Technik, Berlin.	[K4,5]
KOLB, W.; SCHWYZ, T. 1999 Dachbegrünung, intensiv und extensiv. Ulmer Eugen Verlag, Stuttgart.	[K5]
KÖNIG, H. 1997 Wege zum Gesunden Bauen. Ökobuch Staufien b. Freiberg, S.225.	[A3]
KRAMER, A.; HAIDN, B.; SCHÖN, H. 1999 Energieströme beim liegenden Rind - Einflüsse der Liegefläche. Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 4. internationale Tagung, S. 141-146.	[A1]
KRÄUSSLICH, H. 1981 Rinderzucht. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.	[A1,K4]
KRUSCHE, P.; ALTHAUS, D.; GABRIEL, I.; KRUSCHE, M.-W. 1982 Ökologisches Bauen. Bauverlag, Wiesbaden, S. 36, 203.	[K5,6]
KUR, F. 1993 Wohngifte. Handbuch für gesundes Bauen und Einrichtungen, 3. Auflage, Verlag Eichborn, S. 532.	[A3]
KUSUDA, T. 1980 Earth temperatures beneath five different surfaces. NBS Report, Washington DC, P. 197.	[K5]
LADENER, H.; SPÄTE, F. 2003 Solaranlagen. ökobuch Verlag, Freiburg.	[K6]
LANGENEGGER, G. 1996 Flach statt tief in die Erde. In: Top agrar, 6.	[A1]
LECHNER, N. 1991 Heating, Cooling, Lighting; Design methods tor architects. New York, S. 17, 186.	[K5]
LEGEL, S. 1989	[K2,3]

Nutztiere der Tropen und Subtropen. Band 1: Rinder, Hirzel Verlag, Leipzig.	
LEGEL, S.; TAFRAN, A. 1970 Comparative investigations into the intake of green forage and nutrient equivalents from green forage and concentrate in Shami and Friesian cows in the SAR. Beitr. Trop. Subtr. Landw. Trop. Vet Med. 8.	[K3]
LINDLEY, J.A.; WHITAKER, J.H. 1996 Agricultural Buildings and Structures: Dairy Cattle Housing. ASAE, St. Joseph, Michigan, USA, p. 529-564.	[A1]
LOMMATZSCH, R. 1989 Technologische Verfahren. In: LEGEL, S. 1989: Nutztiere der Tropen und Subtropen, Band 1: Rinder. Hirzel Verlag, Leipzig.	[A1]
LÖFFLAD, H.; RANFT, F. 2000 Dämmstoffe Ökologische auswählen und schadenfrei einbauen. Herg. Von der Energieagentur NRW, Wuppertal.	[K5,6]
LIPPSMEIER, G. 1980 Tropenbau – Building in the tropics. Verlag Georg D.W. Callwey, München.	[K3,5]
LIPPSMEIER, G. 1969 Tropenbau. Verlag Georg D. W. Callwey, München.	[K5]
MADL, S. 2001 Einführung in Entwicklungsländern – Grundgegebenheiten: Tierische Produktion – Rinder. Herg. von Margarete Payer. www.payer.de/entwicklung/entw081.htm	[K1]
MAHLKOW-NERGE, K. 2007 Kühe fürchten Hitze. Rinderpraxis. Nutztierpraxis Aktuell. Agrar- und Veterinär-Akademie (AVA), Horstmar.	[A1,K5]
MARZOOK M. A.; ABDELHAFEEZ M. A. 1992 Development and Evaluation of A Natural Evaporative Cooling System for Dairy Cow Sheds in Saudi Arabia. II- The Effects of Evaporatively Cooled Air on Lactating Dairy Cows in Hot and Dry Climatic Conditions. College für Tiermedizin und Tierressourcen. College für Agrarwissenschaften und Ernährung, King Faisal Universität. Saudi Arabien. Arab Gulf J. Scient. Res., Band 10, Heft 2. pp. 11-21.	[K5]
MEHLER, A.; HEINIG, W. 1968 Bauten für die Rinderhaltung. Neumann Verlag, Radebeul.	[A1,K4]
METZNER, R. 1976 Kennwerte für tiergemäße Versorgungseinrichtungen des Kurzstands für Fleckviehkühe. Diss. TU München-Weihenstephan.	[K4]
MINKE, G. 2000 Dächer begrünen. einfach und wirkungsvoll, Planung, Ausführungshinweise und Praxistipps Ökobuch, Freiburg.	[K5]
MINKE, G.; WITTER, G. 1983 Häuser mit Grünem Pelz. Ein Handbuch zur Hausberggrünung, Fricke Verlag, Frankfurt/Main.	[K5]
MITTERMAIR, F.; SAUER, W.; WEIßE, G. 1995 Solaranlagen – selbst gebaut, Anleitung zum Selbstbau von Systemen zur Warmwasserbereitung. 5. Auflage, C.F. Müller-Verlag, Heidelberg.	[K6]
MOHAMED, A. 1992 Verknüpfung traditioneller und moderner Bauweisen: am Beispiel der Oase (El Kasr) Dekhle-Ägyptern. Dissertation, Institut für Baustofflehre, Bauphysik, Technischen Ausbau und Entwerfen, Universität Stuttgart.	[K5]
MOORE, F. 1993 Environmental control systems: Heating, Cooling, Lighting. Mc Graw-Hill, Inc. NewYork.	[K5]
MÖLBERT, H. et al. 1975 Veredlungswirtschaft. Funktion und Bauarten der Maschinen und Geräte, Ansprüche der Tiere an das Gebäude, Arbeitsverfahren. Landtechnik, Bd. 2, Verlag Ulmer, Stuttgart.	[K4]
MUNZINGER, P. 1981 Handbuch der Zugtiernutzung in Afrika. Herausgeber GTZ, Eschborn, S.102-103.	[K2]
MÜLLER, P.; BEHRND, B.; MÜSCH, W.; RITTEL, L.; SEUFERT, H. 1998 Empfehlungen zum Stallklima und zur Haltung von Milch und Jungvieh. Hrsg. Beförderung Landwirtschaft, Baubriefe Landwirtschaft Heft 39. Landwirtschaftsverlag, Münster - Hiltrup.	[K4]
MÜLLER, H.-J. 1997 Freie Lüftung in der Tierhaltung. Ökologische Tierhaltung, Witzenhausen-Universität Kassel.	[A1,7]
MÜLLER, H.-J.; VAN DEN WEGHE, H. 1992 Arbeitsblatt "Freie Lüftung - Grundlagen". KTBL. 2. Vorlage.	[A1, K4,7]
MÜSCH, W.; PELZER, A. 1998 Stallklima. Hrsg. Beförderung Landwirtschaft, Baubriefe Landwirtschaft Heft 39, Landwirtschaftsverlag, Münster- Hiltrup.	[K4]
NACHTIGALL, W. 2003 Bau-Bionik. Springer Verlag Berlin Heidelberg, New York.	[K5]
NAUHEIMER, H.; WENIGER, J.H. 1986 Auswirkungen einer Temperaturbelastung von Milchkühen. Züchtungskunde 60, S. 388-397.	[A1]
NEUFERT, E. 2002 Bauentwurflehre. 37. erweiterte und überarbeitete Auflag, Vieweg & Sohn Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, S. 29-31.	[K7]

NICHELMANN, M. 1999 Spezielle Probleme der Tierproduktion in den Tropen und Subtropen. In: HORST, P. und REH, I. 1999: Tierzucht in den Tropen und Subtropen, 2. Aufl., Band 5, Ulmer, Stuttgart.	[A1]
NILES, D. 2000 Utilizing Milk Component Data Technical Service Specialist, Monsanto, California, USA.	[K2]
NOSAL, D. 1997 Schadgase in Milchvieh-Laufställen. Vorkommen von Schwefelwasserstoff (H ₂ S) bei der Güllelagerung unter Spaltenböden in offenen Ställen und Laufhöfen. FAT- Berichte Nr. 500, Tänikon - Schweiz.	[A1]
N. N. 2001 Handbuch landwirtschaftliche Betriebsgebäude: Planungshilfen, Funktions- und Bauanleitungen. Landw. Verlag Münster.	[K4,7]
OLDENBURG, J. 2002 Emission und Immission von Schadgasen und Geruchstoffen. In: METHLING, W.; UNSELM, J. (Hrsg): Umwelt- und tiergerechte Haltung von Nutz-, Heim- und Begleittieren. Parey Buchverlag, Berlin, S. 20-27.	[A1]
OTTO, F.; GILL, S. 1984 Leichtbau und Energietechnik. Mitteilung des Instituts für leichte Flächentragwerke (IL), Universität Stuttgart, Nr. 11.	[K5]
PAGOT, J. 1993 Animal production in the tropics and subtropics. 2. Edition, The Macmillan press Ltd., Hong Kong.	[A1]
PENNINGTON, J. A.; VAN DEVENDER, K. 2006 Heat stress in dairy cattle. FSA3040-1M-1-99R, University of Arkansas, USA.	[K5]
PFLAUM, R. 1990 Leichte Umhüllungskonstruktionen in der trocken-heißen Klimazone - Klimagerechte Projektierung mit speziellen Untersuchungen zur thermischen Leistungsfähigkeit von Industriehallendächern. Diss. Universität Leipzig.	[K5]
PIOTROWSKI, J. 1986 Stand und Entwicklungstendenzen des Landwirtschaftliche Bauens unter Besonderer Berücksichtigung klimabedingter Faktoren. CIGR 20.-24. Jannuar 1986, South African.	[K5]
RAGSDAL, A. C. et al. 1953 Die Wirkung der Feuchtigkeit auf Milchleistung und Zusammensetzung des Futters und Wasserverbrauch sowie Körpermasse bei Rindern. Bulletin der Landwirtschaftlichen Versuchsstation der Universität Missouri.	[A1]
RANFT, F.; FROHN, B. 2004 Natürliche Klimatisierung. Birkhäuser Verlag, Berlin.	[K5]
RECKNAGEL, H.; SPRENGER, E.; SCHRAMEK, E. 2005 Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Oldenburg Industrieverlag, München.	[A3,K6]
RECKNAGEL, H.; SPRENGER, E.; SCHRAMEK, E. 1999 Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 69. Auflage, Hrsg. Ernest-Rudolf Schramek- Universität Dortmund, Oldenbourg Verlag, München, Wien.	[A1,]
REEPMAYER, A. 1985 Planerische und bauliche Gesichtspunkte zur Güllelagerung. Hrsg. Beförderung Landwirtschaft, Baubriefe Landwirtschaft Heft 27. Landwirtschaftsverlag, Münster - Hiltrup.	[K4]
REEVES, G. W.; HAYMAN, A. H. 1975 Demand and supply forces in the world beef market. Quarterly Rev. Agric. Econ., S. 28,121-151.	[K2]
REIMANN, S.; REDELBERGER, H. 2004 Betriebszweig Milchviehhaltung. KTBL-Schrift 426, Darmstadt.	[K4]
RICHTER, W. et al. 1992 Grundwerte der Tiergesundheit und Tierhaltung. 3. Auflag, Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart.	[A1,K 5,7]
RIST, M.; OLIVER, J. 1971 Beitrag zur Ermittlung des Fressbereiches und einer tiergerechten Krippenform für Milchvieh. Landw. Monatshefte, 49, Schweiz, S. 369-374	[K4]
RYBKA, PETER 1979 Die Rinderproduktion der Syrischen Arabischen Republik – bisherige Entwicklung und Entwicklungsmöglichkeiten unter besonderer Berücksichtigung der Verbesserung der genetischen Leistungsfähigkeit der Rinder. Diss. Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf – Rostock.	[K3]
SAMBRAUS, H.H.; SCHÖN, H.; HAIDN, B. 2002 Tiergerechte Haltung von Rindern. in: Methling, W.; J. Unselm (Hrsg.): Umwelt- und tiergerechte Haltung von Nutz-, Heim- und Begleittieren. Parey Buchverlag Berlin, S. 281-332.	[A1]
SAYED, R. A. 1999 Energieeinsparung und Baumaterialschonung beim Bauen neuer Siedlung des Landgewinnungsprojekts in ägyptischen heiß-trocken Zonen. Diss. Uni- Stuttgart.	[K5]
SCHAREIKA, N. 1994 Die soziale Bedeutung der Rinder bei den Fulbe (Benin). Münster.	[K2]
SCHICK, M.; MORIZ, C. 2004 Entmistung von Milchviehställen. FAT-Bericht Nr. 619. Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon - Schweiz.	[K4]
SCHINDLER, A. 1983 Internationale Entwicklungstendenzen der Milch- und Rindfleischproduktion. Forschungsbereich, Leipzig.	[K2]

SCHNEIDER, K.-J. 2002 Bautabellen für Ingenieure. 15. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf.	[A3]
SCHNEIDER, K.-J. 1985 Am Anfang die Erde; sanfter Baustoff Lehm. Verlagsgesellschaft Rudolf Möller, Köln.	[K5]
SCHÖN, H. 1969 Voraussetzungen und Möglichkeiten einer Mechanisierung der Vorratsführung in Rinderlaufställen. KTBL-Berichte über Landtechnik, Nr. 133, Frankfurt.	[K4]
SCHWARK, H.-J.; HORN, A.; JASIOROWSKI, H.; PLESNIK, J. 1972 Internationales Handbuch der Tierproduktion. Rinder. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.	[A1, K2,4]
SCHWARZ, B. 1987 Wärme aus Beton; Systeme zur Nutzung der Sonnenenergie. Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf.	[K5]
SENS, K. 1998 Baukonstruktion - Unterbau, Entmistung und Dunglagerung. Hrsg. Beförderung Landwirtschaft, Baubriefe Landwirtschaft Heft 39, Landwirtschaftsverlag, Münster - Hilstrup.	[A1]
SIMMONS, J. D.; DEATON, J. W. 1988 Research note: Evaporative cooling for increased production of large broiler chickens. Poult. Sci. 68.	[K5]
SHARAN, G. 2008 Earth Tube Heat Exchangers for Environment Control of Farm Buildings in Semi-arid Northwest India. Indian Institute of Management Ahmedabad, Research and Publication Department, IIMA Working Papers.	[K5]
SHARAN, G.; RATAN, J. 2003 Performance of Single Pass Earth-Tube Heat Exchanger: An Experimental Study. Indian Institute of Management Ahmedabad, Research and Publication Department, IIMA Working Papers.	[K5]
SMITH, T. R.; CHAPA, A.; WILLARD, S.; HERNDON J. R. C.; WILLIAMS, R. J.; CROUCH, J.; RILEY, T.; POGUE, D. 2006A Evaporative Tunnel Cooling of Dairy Cows in the Southeast. I: Effect on Body Temperature and Respiration Rate. Journal of Dairy Science Vol. 89 No. 10.	[K5]
SMITH, T. R.; CHAPA, A.; WILLARD, S.; HERNDON J. R. C.; WILLIAMS, R. J.; CROUCH, J.; RILEY, T.; POGUE, D. 2006B Evaporative Tunnel Cooling of Dairy Cows in the Southeast. II: Impact on Lactation Performance. Journal of Dairy Science Vol. 89 No. 10.	[K5]
SODHA, M. S.; BANSAL, N. K.; KUMAR, A.; BANSAL, P. K.; MALIK, M. A. S. 1986 Solar passive Building: Science and Design. Bergamon Press, Oxford. S. 130,132,334	[K5]
SOMMER, H. 1965 Über die Beziehung zwischen Wetter und Milchleistung des Rindes. Bulletin der Landwirtschaft, 76, 3,S. 311.	[A1]
STEINER, B.; VAN CAENEGEM, L. 2003 Laufflächen in Ställen tiergerechter gestalten. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Bericht Nr. 594, Tänikon – Schweiz.	[K4]
STEINFELD, H. et al. 2006 Livestock's long shadow. Food and Agriculture organization the United Nation, Rom.	[K1]
STOWELL, R. R.; GOOCH, C. A.; INGLIS, S. 2001 Performance of tunnel ventilation for free stall dairy facilities as compared to natural ventilation with supplemental cooling fans. 6th Int. Symp., Am. Soc. Agric. Eng. Louisville, KY. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.	[K5]
STOWELL, R. R. 2000 Heat Stress Relief and Supplemental Cooling. Proceedings of Dairy Housing and Equipment Systems, NRAES, Ithaca, New York.	[A1]
STOY, B. 1980 Wunschenenergie Sonne. 3. Aufl., Energieverlage, Heidelberg. (In: Ladener und Späte, 2003)	[K6]
STRACK, K. E. 1990 Milchviehställe. In: GRANZ, W.; PAST; STACK, 1990: Tierproduktion, 11. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin.	[A1]
TINKER, J. A.; LAMBERTS, R. 1992 Low Cost Housing: Thermal Design of Roofs. In Alarm, Jg. 11, Nr.130, Cairo, P6.	[K5]
THOBURN, W. C. 1983 Performance of Earth-Air Tunnel System.	[K5]
TURNER, L. W.; WARNER, R. C.; CHASTAIN, J. P.; ELDER, H. F. 1991 Forced evaporative cooling of dairy cows: On-farm demonstration results. Paper 91-4023. Am. Soc. Agric Eng., Albuquerque, NM.	[K5]
TYSON, J. T.; GRAVES, R. E.; MCFARLAND, D. F.; WILSON, T. 2004 Tunnel ventilation for tie stall dairy barns. Cooperative Extension.Pub. No. G 78. College of Agricultural Sciences, Agricultural and Biological Engineering, Department of Agriculture, and Pennsylvania Counties Cooperating, An Equal Opportunity University.	[K4]
VAN CAENEGEM, L.; WECHSLER, B. 2000 Stallklimawerte und ihre Berechnung. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon. FAT-Schriftenreihe 51, Tänikon – Schweiz.	[A1]
VAN CAENEGEM, L.; SCHMIDLIN, A. 1997 Windschutz in Außenklimaställen. FAT Bericht Nr. 526. Tänikon – Schweiz.	[A1]

VAN CAENEGEM, L.; DIDIER, D. 1997 Erdwärmetauscher für Mastschweinställe. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, FAT-Schriftenreihe 504, Tänikon - Schweiz.	[K5]
VAN CAENEGEM, L. 1994A Stallklimaabrechnungen mit EDV. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Bericht Nr. 455, Tänikon - Schweiz	[K7]
VOLHARD, F. 1995 Leichtleimbau. 5. Auflag, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, S. 146.	[K6]
WAGNER, K.; HÜFFMEIER, H. 1986 Die Landwirtschaft, Band 2: Tierische Erzeugung. 8. Auflage. München: DLV Verlagsgesellschaft, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag.	[A1]
WALKER, B. 1968 Hindu World: an encyclopaedic survey of Hinduism. London, Allen & Unwin.	[K2]
WANKA, U. 2003 Informationen und Empfehlungen zu aktuellen umweltrechtlichen Regelungen in der Milchproduktion. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.	[K4]
WATHES, C. M.; CHARLES, D.R. 1994 Livestock Housing. CAB International, UK University Press, Cambridge.	[K5]
WEBER, H. 1983 Umweltenergie: Nutzung am Gebäude. Verlag TÜV Reinland GmbH, Köln.	[K5]
WEIB, W.; THEMEßL, A. 1993 Solaranlagen Selbstbau. Gleisdorf.	[K6]
WEST, J. W. 2003 Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. Journal of Dairy Science Vol. 86, No. 6.	[A1]
WEST, J. W.; MULLINIX, B. G.; BERNARD, J. K. 2003 Effects of Hot, Humid Weather on Milk Temperature, Dry Matter Intake, and Milk Yield of Lactating Dairy Cows. Journal of Dairy Science Vol. 86, No. 1.	[A1,K5]
WIRTH, E. 2000 Die Orientalische Stadt im islamischen Vorderasien und Nordafrika. Band II. Verlag Philipp von Zabren, Mainz. A.D.	[K5]
WRIGHT, D. 1980 Sonne, Natur; Architektur; Anleitung zum Energiebewussten Bauen. Verlag C. F. Müller, Karlsruhe.	[K5]
YECK, R. G.; STEWART, R. E. 1959 A ten-year summary of the psychrometric laboratory dairy cattle research at the University of Missouri. Transact. Amer. Soc. Agric. Eng. 2.	[K1]
ZÄHNER, M. 2008 Abmessungen für Aufstallungssysteme. ART, Forschungsgruppe Bau, Tier und Arbeit. Tänikon - Schweiz.	[239]
ZIMMERMANN, M.; GLAUSER, H. 2003 Handbuch der passiven Kühlung. Stuttgart, Fraunhofer IRB.	[K5]

10.1.2 Gesetze, Normen und Regelwerke

TSchV; SR 455.1 – 1981 Tierschutzverordnung vom 27. Mai 1981, Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.	[A1,K4]
DuSVO 1999 Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über die Anforderungen an Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Dung und Silagesickersäften (Sächsische Dung- und Silagesickersaftanlagenverordnung – Sächs. DuSVO) vom 26. Februar 1999.	[A1]
VO-EG (Verordnung Europäische Gemeinschaft) 1999 Nr. 1804/1999 des Rates vom 19. Juli 1999, Abl. EG Nr. L 222 vom 24.08.1999.	[A1,K4]
THVO 2004 Entwurf zur Verordnung der Bundesministerin für Gesundheit und Frauen über die Mindestanforderungen für die Haltung von Pferden und Pferdeartigen, Schweinen, Rindern, Schafen, Ziegen, Schalenwild, Kaninchen, Hausgeflügel, Straußen und Nutzfischen (1. Tierhaltungsverordnung). http://www.ris.bka.gv.at .	[A1,K4]
DIN 18910 – 2004 Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH. Berlin. Ausgabe. 2004-07.	[A1,K7]
DIN EN ISO 6946 – 1996 Bauteile, Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient. Berechnungsverfahren (ISO 6946: 1996); Deutsche Fassung EN ISO 6946: 1996. Ausgabe 1996-11; Beuth Verlag GmbH, Berlin.	[A3]
DIN EN ISO 9346 – 1996 Wärmeschutz – Stofftransport – Physikalische Größen und Definitionen. Ersatz für: Teile der DIN 4108-1 : 1981-08. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Ausgabe 08.1996.	[A3]
DIN EN ISO 7345 – 1995 Wärmeschutz – Physikalische Größen und Definitionen (ISO 7345:1987); Deutsche Fassung EN ISO 7345:1995. Beuth	[A3]

Verlag GmbH, Berlin. Ausgabe:1996-01.	
DIN 1304-1 – 1994 Formelzeichen; Allgemeine Formelzeichen. Deutsche Fassung. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Ausgabe:1994-03.	[A3]
DIN 11622 – 1994 Gärfuttersilos und Güllebehälter. Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Grundlagen. Berlin, Deutsches Institut für Normung, 1994-07	[A1]
DIN 52612-2 – 1984 Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät; Weiterbehandlung der Messwerte für die Anwendung im Bauwesen. Deutsche Fassung. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Ausgabe: 1984-06.	[A3]
DIN 4108 – 1982 Wärmeschutz im Hochbau; Inhaltsverzeichnisse; Stichwortverzeichnis. Deutsche Fassung. Beuth Verlag GmbH, Berlin. Ausgabe: 1982-04.	[A3]

10.1.3 Aufsätze, Berichte

AEL (Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft e.V.) 2004, 2007 Berechnungs- und Planungsgrundlagen für das Klima in geschlossenen Ställen. AEL Schriftenreihe Heft 17, Frankfurt.	[A1,K7]
Ag Solar NRW 2004 Luft-Erdwärmetauscher L-EWT, Teil 2. Planungsleitfaden.	[K5]
AID (Infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V.) 2004 Vom Kalb zur Kuh. www.aid.de, Bonn.	[K4]
AID 1997 Melkstände - ein Verfahrenvergleich. Bonn.	[K4,7]
ALB (Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Bauwesen-Bayern) 1981 Arbeitsblatt Landwirtschaftliches Bauwesen Nr. 14.01.08: Stallklima.	[A1]
ALF (Amt für Landwirtschaft und Forsten Pfarrkirchen) 2006 Rinder im Hitzestress. Pfarrkirchen.	[K4,5]
ART (Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon-Schweiz) 2006 ART-Baumerkblätter. Stand August 2006.	[K4]
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr. Erneuerbare Energien in Bayern. www.stmwivt.bayern.de/energie-und-rohstoffe/erneuerbare-energien	[K6]
BFL (Bauförderung Landwirtschaft) Melktechnik Informationen zur Melktechnik von BFL-Mitgliedsunternehmen, Bauförderung Landwirtschaft, Hannover, popp druck GmbH, Langenhagen.	[A1,K4]
BFL 1985 Empfehlungen zur Entmistung und Mistlagerung. Hrsg. Beförderung Landwirtschaft. Baubriefe Landwirtschaft Heft 27. Arbeitsgruppe 4. Landwirtschaftsverlag, Münster- Hilstrup, S. 70.	[A1]
Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf – Baden-Württemberg 2008 Planungshilfen für den Rinder-Stallbau. Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf für Viehhaltung, Grünlandwirtschaft, Wild und Fischerei. 20.06.2008.	[A1,K4]
BINE 2003 Passive Kühlung mit Nachtlüftung. Bonn.	[K5]
BVET 2005 Empfehlungen zu den Abmessungen für kleine und große Kühe und hochträgliche Rinder (lichte Weiten). Information Tierschutz 800.106.16. Bundesamt für Veterinärwesen, Bern, 22.06. 2005.	[A1, K4,7]
BVET 2003A Richtlinien für die Haltung von Rindvieh. Bern, Tänikon, 1. Dezember 2003.	[A1, K4]
BVET 2003B Anforderungen an die dauernde Haltung von Nutztieren (Rindvieh, Schafe, Ziegen, Pferdeartige, Schweine) im Freien: Witterungsschutz und Betreuung. Information Tierschutz 800.106.18. Bundesamt für Veterinärwesen, Bern, 01.12.2003.	[K4]
BVET 2002 Stallklimawerte und ihre Messung in Nutztierhaltungen. Information Tierschutz 800.106.01. Bundesamt für Veterinärwesen, Bern, 25.03.2002.	[A1,K4]
CIGR (Commission Internationale du Genie Rural) 1986 Internationales Landbautechnik Symposium, CIGR Technische Sektion I,II und III, Pretoria, Südafrika, 1986.	[K2,7]
CIGR (Commission Internationale du Genie Rural) 1984 Report of working group on Climatization of animal houses No 13; Scottaspress Publishers Limited, 1984, Aberdeen ,U.K.	[K7]
DLG (Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft e. V.) 2004 Arbeitsunterlage „Lüftung von Schweinställen“. 3. überarbeitete Fassung, (Verfasser: BÜSCHER et al.).	[A1]
DLG (Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft e. V.) 2003 Kühlung von Schwerinställen. Merkblatt 332, Frankfurt.	[K7]
DLG	[K5]

Vermeidung von Wärmebelastungen für Milchkühe. Merkblatt 336. Frankfurt.	
Fachbereichsstandard TGL 1979 Tierphysiologische Angaben und technische Forderungen zur Klimagestaltung. TGL 29084 Landwirtschaftsbau.	[A1]
FAL (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft – Braunschweig) 1969 Lüftungstechnische Möglichkeiten zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere vor gesundheitsschädlichen Luftverunreinigungen. Bericht von Institut für Bauforschung Herg AID, Bonn.	[A1,K7]
FAT (Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik) 2005 Abmessungen an Aufstallungssystemen. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon, Schweiz, 2005.	[A1]
Energieagentur NRW 2003 Erdwärmetauscher Geothermie intelligent nutzen. www.ea-nrw.de. Wuppertal.	[K5,6]
GÖT (Gesellschaft für Ökologische Tierhaltung e.V.) 2003 Verhalten, artgerechte Haltungssysteme und Stalleinrichtungen für Rind, Schwein und Huhn. Witzhausen.	[A1,K4]
Hebel – Montagebauteile Sommerlicher Wärmeschutz mit Porenbeton. www.xella.de/html/deu/de/index.php	[A3;K7]
KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) 2006 Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen. Schrift 451, Darmstadt.	[K4]
KTBL 1990 Bauen im ländlichen Raum; Futter; Beton-Siloplatte mit Gärtsaftbehälter. Arbeitsblatt Nr. 1085. Darmstadt, KTBL e.V., 05.90.	[A1]
KTBL 1989 Rindviehhaltung. Maschinen und Geräte für Entnahme, Transport und Vorlage von Grundfutter aus Flachsilos, Bauarten. Arbeitsblatt Nr. 1082, Darmstadt, KTBL e.V., 08.89.	[A1]
KTBL 1976, 1978 Taschenbuch für Arbeits- und –Betriebswirtschaft, KTBL- Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, Hiltrup. 8. Aufl.	[K4]
Landwirtschaftskammer - Rheinland-Pfalz 2006 Beispielhafte Milchviehhaltung in Rheinland-Pfalz. Bad Kreuznach.	[A1, K4,5,7]
Landwirtschaftskammer – Hannover 1983 Planungsdaten und Rechenwerte für das Stallklima. Ref. „Landw. Bauwesen“. Hannover, 4.1983.	[A1;K7]
LFL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) 2008 Hitzestress im Milchviehstall. LfA-Information, Es-Druck, Tüntenhausen, Freising-Weihenstephan. Juli 2008. www.lfl.bayern.de	[K5]
ORNL (Oak Ridge National Laboratories) 2002 LandScan 2002 global population database, Oak Ridge, TN, USA. Website www.ornl.gov/sci/gist/landscan/. In: SALVATORE, M.; POZZI, F.; ATAMAN, E.; HUDDLESTON, B.; BLOISE, M. 2005: Mapping global urban and rural population distributions. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.	[K2]
SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) 2008 Immissionsschutzrechtliche Regelung- Rinderhaltung. Dresden.	[A1, K4,7]
TiHo 2006 Tierhaltung und Tierhygiene. Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie, Hannover	[A1]
TU- München 2007 Energieoptimierung für Gebäude. Fakultät für Architektur und Maschinenwesen	[K5]
TVT (Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz e.V.) 2005 Die Vermeidung von Hitzeschäden bei landwirtschaftlichen Nutztieren (Geflügel, Schweine, Rinder). Merkblatt Nr. 100, Bramsche.	[K4,5]
VDI 3474 (Verein Deutscher Ingenieure e.V.) 2001 Emissionsminderung; Tierhaltung – Geruchsstoffe (Entwurf). 03.2001, Düsseldorf.	[K7]
Wuppertal Institut 1996 Institut für Klima, Umwelt, Energie, Planungs-Büro Schmitz, Hrsg.: Bundesarchitekturkammer, Bonn: Energiegerechtes Bauen und Modernisieren. Birkhäuser, Basel. (In: Fisch, N. et al., (2005) Wärmespeicher. Bine – Informationsdienst, Tüv Verlag, Köln)	[K6]

10.1.4 Organisationen

Deutscher Wetterdienst (DWD) www.dwd.de	[K1,6]
FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) www.fao.org	[K]
FAO's Animal Production and Health Division http://www.fao.org/ag/againfo/home/en/index.htm	[K2]
FAOSTAT (Food Security Statistics) 2009 http://faostat.fao.org/; http://www.fao.org/faostat/foodsecurity/	[K1,2]

FAO Statistics Division http://www.fao.org/ES/ess/	[K2]
FAO Statistical Yearbook 2005/2006 http://www.fao.org/es/ess/yearbook/	[K2]
Population Reference Bureau http://www.prb.org/	[K2]
SARSTAT (Syrischer Statistik) 2002, 2005, 2008 Zentralbüro für Statistik (CBS), http://www.cbssyr.org , Damaskus. (Arabisch). Tab. 1/2, 6/3, 1/4, 3/4, 6/4, 7/4, 29/4, 30/4, 31/4, 38/4, 40/4, 44/4, 5/15, 6/15.	[K1,3]
SARSTAT Ldw. (Syrischer jährlicher Statistik für Landwirtschaft) 2007 Ministerium für Landwirtschaft, Abteilung für Planung und Statistik. Damaskus.	[K3]
Syrischer Klimatischer Atlas. Damaskus. (Arabisch)	[K3]

10.1.5 Verwendete Software

Adobe Photoshop (Bildbearbeitungsprogramme für die Bilder)	[K7]
ArchCAD (Zeichnungsprogramm für die Architektur)	[K7]
GAEA (Graphische Auslegung von Erdwärmeaustauschern) Abschlussbericht. Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie. Universitäts-Gesamthochschule Siegen. 2000. http://nesa1.uni-siegen.de/index.htm?softlab/gaea.htm .	[K7]

10.1.6 Internet Informationen

AgrarSystem GmbH und CENO-TEC www.agrar-system.de/	[K5]
Albers Dairy Equipment www.albersdairyequipment.com	[K5]
Avarus Leichtbauten GmbH - Zeltdächer, Industriedächer, Sonnensegel: www.avarus.de/	[K5]
Bauratgeber zur Altbausanierung, zu Schimmelpilze und Feuchtigkeit - Ingenieurbüro Peter Rauch www.ib-rauch.de	[A2]
Cover-All Building Systems Inc. www.coverall.net/	[K5]
Cornell University-Department of Animal Science (Pro-Dairy Program) www.ansci.cornell.edu/prodairy/	[K5]
Die Hightech-Oase www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/specials/116484/index.html	[K5]
Erdwärmetauscher - Tipps zum richtigen Einsatz www.effiziento.de/erdwaermetauscher.html	[K5]
Erdwärmetauscher. 1. Ausgabe: November 2007. Austria-Tirol. www.komfortlüftung.at	[K5]
mediatum - digital collection management mediatum2.ub.tum.de/	[A1]
Scott Turner's Scientific Review Articles www.esf.edu/efb/turner/review%20articles.html	[K5]
Stadtklima Stuttgart Home www.stadtklima-stuttgart.de	[K6]
Stallbau mit System -HÖRMANN Allgäuer Stallbau www.hoermann-info.de/Frame/index-entmistung.htm	[A1]
Stalltechnik Dieter Rohr www.stalltechnik-dieter-rohr.de	[A1]
www.stmwivt.bayern.de	[A6]
US-Großventilator BIG-ASS-FAN. Arntjen Germany GmbH www.arntjen.com	[K5]

10.2 Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1.01: Jährliche durchschnittliche Temperaturen Syriens und Deutschlands (bearb. n. ALEX, 1985; DWD)	4
Abb. 1.02: Stündliche durchschnittliche Temperaturen Syrien und Deutschland (bearb. n. ALEX, 1985; AKRAA, 1998; DWD)	4
Abb. 1.03: Relative tägliche Milchleistung von Kühen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (YECK und STEWART, 1959)	4
Abb. 1.04: Auswirkung der hohen Temperaturen auf Futterverzehr, Milchleistung und Wasseraufnahme (HUBER, 1996)	4
Abb. 1.05: Die drei Hauptteil der Arbeit	7
Abb. 1.06: Aufbau der Arbeit und Lösungsweise	8
Abb. 2.01: Vereinfachtes Schema der Milchverarbeitung (BELITZ und GROSCH, 1992)	13
Abb. 2.02: Geschlachtetes Rind wird vollständig verwertet (DEPPE, 1997)	15
Abb. 2.03: Konzentration von Bevölkerung und Rindern auf der Erde (oben nach: ORNL, 2002, unten nach: FAO's Animal Production and Health Division)	17
Abb. 2.04: Vorherrschende landwirtschaftliche Betriebsformen (ANDREAE, 1983)	18
Abb. 2.05: Verbrauch von Rindfleisch und Einkommen je Einwohner. Verbrauch von Milch und Milcherzeugnissen und Einkommen je Einwohner (aktualisiert nach SCHWARK et al., 1972)	19
Abb. 2.06: Die Rinder werden zum Dreschen von Getreide genutzt. Wasserbüffel hilft beim Setzen von Reisschösslingen - Philippinen (FAO)	20
Abb. 2.07: Schattendächer aus lokalem Material erfüllen meistens die genannten Anforderungen zur Unterbringung von Zugtieren und sind billig zu erstellen (MUNZINGER, 1981)	22
Abb. 2.08: „Der KRAAL“ ein Verfahren der halbnomadischen Rinderhaltung. Beispiele aus Brasilien und Afrika (MUNZINGER, 1981)	23
Abb. 2.09: Verfahren der Futterversorgung in Ranchbetrieben bei wechselnder Intensität der Produktion (ANDREAE, 1972)	24
Abb. 2.10: Darstellung von Rinderduschen und Tauchbad und ein Foto eines Tauchbads (LEGEL, 1989)	24
Abb. 2.11: Typische Anordnung für Feldhaltung -100 Köpfe pro Abteilung in USA (HARNER und MURPHY, 1998). Beispiel aus Südastralien und Texas - USA (FAO)	25
Abb. 2.12: Milchviehstall für EinzelKuh - Uganda (FAO)	26
Abb. 2.13: Beispiele von Stallsystemen aus verschiedenen Ländern	27
Abb. 3.01: Syrische Karten	30
Abb. 3.02: Darstellung zum Anteil der Milch und Milchproduktion an der landwirtschaftlichen Produktion und gesamten Produktion in SAR (SARSTAT, 2008)	31
Abb. 3.03: Milchproduktion in Syrien im Jahr 2007 (SARSTAT, 2008; SARSTAT Ldw, 2007)	32
Abb. 3.04: Milchproduktion und Verbrauch von Milch in Syrien - Vergleich mit Deutschland (FAOSTAT, 2009)	33
Abb. 3.05: Verbreitungskarte der Rinder (SARSTAT Ldw, 2007)	33
Abb. 3.06: Prozentsätze der Milchkuh Rassen und ihre Produkte in Syrien (SARSTAT Ldw, 2007)	35
Abb. 3.07: Stallanlage für Milchkuhe mit Nebengebäuden in der Versuchsstation <i>Deir-el-Hajar</i>	39
Abb. 3.08: Schema und eigene Fotos eines Offenstalles für Milchkuhe - <i>Kharabo / Damaskus</i>	40
Abb. 3.09: Mittlere tägliche Sonnenschein-dauer in Homs (dargestellt nach Tabelle 3.09)	42
Abb. 3.10: Sonnenstanddiagramm für die Region Homs (Jabbour, 1984)	42
Abb. 3.11: Tägliche Sonneneinstrahlung auf einer horizontalen Fläche auf Meereshöhe in cal/cm ² (Lippsmeier, 1980; Jabbour, 1984)	42
Abb. 3.12: Tagesamplitude der Lufttemperatur der Region Homs im Tages- und Jahresverlauf	42
Abb. 3.13: Jährliche Windrosen der Hauptstationen in Syrien (Klimatischer Atlas Syriens). Jährliche Windrose der Region Homs (Jabbour, 1984)	43
Abb. 3.14: Aride und humide Monate sowie die mittlere relative Luftfeuchtigkeit in Homs (dargestellt nach Tabelle 3.09)	43
Abb. 4.01: Durchschnittsmaße der Milchkuh (bearb. n. MÖLBERT et al., 1975)	46
Abb. 4.02: Arten des Platzerfordernisses bei Richtungsänderungen im Einbahnweg (BARTUSSEK et al., 2008)	47
Abb. 4.03: Laufgänge zwischen Liegeboxen oder Wänden (BARTUSSEK et al., 2008)	47
Abb. 4.04: Dimensionen der Laufgänge (BVET, 2003)	51
Abb. 4.05: Fressbereich des Rindes (SCHÖN, 1969; RIST u. OLIVER, 1971; METZNER, 1976)	53
Abb. 4.06: Ausbildung von Krippe und Fressgitter (FÜRSCHUSS, 2004)	53
Abb. 4.07: Selbstfangfressgitter (MÜSCH und PELZER, 1998)	54
Abb. 4.08: Optimale Gestaltung der Wasserbecken (KECK und ZÄHNER, 2004)	57

Abb. 4.09: Einige Melkstandformen und ihre Abmessungen (AID, 1997)	60
Abb. 4.10: Milchraum mit Installationsraum für Laufstall 50 - 60 Kühe (KRÄUSSLICH, 1981)	60
Abb. 4.11: Die Einflussfaktoren Standort, Außenklima, Baukonstruktion und Nutzung auf das Stallklima (bearbeitet nach Landwirtschaftskammer - Rheinland-Pfalz, 2006)	68
Abb. 4.12: Raumbedarf für einzelne Maschinen (Traktor). Notwendigkeit der Vorplatztiefe (AMMANN et al., 2002)	69
Abb. 5.01: Wärme- und Wasserdampfabgabe des Menschen (TU- München, 2007; RANFT und FROHN, 2004)	73
Abb. 5.02: Behaglichkeitsfeld des Menschen (RANFT und FROHN, 2004)	73
Abb. 5.03: Der Innenhof als offene und schattige Zone, die als Speicher für kühle Luft dient (MOHEMED, 1992). Beispiel für einen Innenhof in Damaskus	74
Abb. 5.04: Darstellung von Sonnenschutzmaßnahme. Drei verschiedene Arten des Sonnenschutzes an einem Gebäude: tiefe Loggien, senkrechte Lamellen und horizontale Klapppläden mit Lamellen (LIPPSMEIER, 1980)	74
Abb. 5.05: Verschiedene Methoden zur Selbstverschattung der Gebäude (DANZ, 1967)	76
Abb. 5.06: Selbstbeschattung durch raue Struktur von Fassadenoberflächen (BANSAL et al., 1994)	75
Abb. 5.07: Membrandach - Kambodscha (www.avarus.de)	76
Abb. 5.08: Die Binnenlüftung der Außenhülle des Gebäudes (MOORE, 1993; WEBER, 1983)	78
Abb. 5.09: Temperaturverlauf bei einer Dachbegrünung in 10 cm Substrattiefe im Vergleich mit einer unbegrünten Dachfläche und der Lufttemperatur an einem heißen Sommertag (KOLB und SCHWARZ, 1999)	79
Abb. 5.10: Maximale Temperaturschwankungen bei unbegrünten und begrünten Dächern (MINKE und WITTER 1983)	80
Abb. 5.11: Wege der Strahlung beim Wärmeaustausch zwischen den Tieren im Schatten (WATHES und CHARLES, 1994)	80
Abb. 5.12: Ein riesiges Dach aus Blech spendet eine große Schattenfläche für einen Milchviehstall in Kalifornien /USA (www.albersdairyequipment.com)	81
Abb. 5.13: Milchviehanlage der Versuchsstation der FAL in Braunschweig. In den beiden Fotos wurde die rechte Stallhälfte begrünt, die linke im Originalzustand belassen	83
Abb. 5.14: Stallinnentemperatur der Gründach-Variante und der unbegrünten Variante (GEORG, 2007)	83
Abb. 5.15: begrüntes Dach für Moderner Rinderstall, <i>Barahona – Dominikan. Rep.</i>	83
Abb. 5.16: Die Trapezblecheindeckung am Futtertisch wurde hier kostengünstig mit einfacher Konstruktion bewerkstelligt (Ldw. Kammer Rheinkl.-Pfalz, 2006)	84
Abb. 5.17: Schematische Darstellung von Gebäuden (Stall) mit kegelförmiger Dachkonstruktion – hier ausgeführt als Hochpunktmembranen aus textilen Kunststoffmaterialien (AgrarSystem und CENO-TEC www.agrar-system.de (In: Bockisch, 2005))	84
Abb. 5.18: Beispiele des Membrandaches für einen Milchviehstall / Eden-WI-USA (www.coverall.net)	85
Abb. 5.19: Kuppelhäuser in einem Dorf bei <i>Aleppo - Syrien</i>	85
Abb. 5.20: Einfluss der Vegetation auf den Luftstrom (bearbeitet nach LIPPSMEIER, 1980)	86
Abb. 5.21: Temperaturmessungen über einer Rasenfläche und einer dunkel-farbigem Terrasse (FITCH, 1950 (In: EL BANA, 1968))	86
Abb. 5.22: Kombinierte Kühlwirkung des Rasens und der Bäume (FITCH, 1950 (In: EL BANA, 1968))	86
Abb. 5.23: Öffnungen und bewegliche Lamellen in den Trennwänden begünstigen die Durchlüftung. Sonnenbrecher können auch die Brise, die parallel zum Gebäude strömt, abfangen (Jabbour, 1984)	87
Abb. 5.24: Einfluss der Gebäudehöhe und -anordnung auf die Windrichtung und -bewegung (bearbeitet nach LIPPSMEIER, 1980)	87
Abb. 5.25: Angeschnittener Termitenhügel (waagrechte Kammern des Nestes mit den Galerien, darüber die Pilzgärten, darüber angeschnittene Oberflächenkanäle). Darstellung des Termitenhügels (www.esf.edu/efb). Gebäudekühlung mit gleichem Prinzip (nach SAYED, 1999)	88
Abb. 5.26: Abkühlungsgröße in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (m/s) (BÄHR et al., 1983 (In: LFL, 2008))	89
Abb. 5.27: Verstellbare Lufteinlässe in kontrollierten Dächern (WATHES u. CHARLES 1994)	90
Abb. 5.28: Ventilatoren im Stall sind ein technisches Hilfsmittel zur Reduzierung von Hitzestress (www.ardtjen.com)	91
Abb. 5.29: Prinzip der großen Ventilatoren (HAIDN et al., 2008)	91
Abb. 5.30: Milchviehstall aus USA mit Ventilatoren (www.ansci.cornell.edu/prodairy)	92
Abb. 5.31: Vorgang der nächtlichen Abkühlung in einem Tal (GEIGER 1961)	94
Abb. 5.32: Gering geneigte Dächer als strahlende Körper (Moore, 1993; Sodha, 1986; Holm, 1983 (In: Sayed, 1999))	98
Abb. 5.33: Weiß gestrichene Blechplatten als Radiatoren und Beschattungsdach (Bansal et al., 1994; Lechner, 1991; Holm, 1983 (In: Sayed, 1999))	98
Abb. 5.34: Bauarten für aktive, nichtbauliche Wärmespeicher (KRUSCHE et al., 1982)	98
Abb. 5.35: Wasserverdunstung auf dem Dach als vorhandene Wärmesenke zum Speichern (SAYED, 1999)	99
Abb. 5.36: Abkühlen bzw. Entladen eines Steinschotterspeichers mit Kaltluft aus Erdrohren (BANSAL et al., 1994; SODHA et al., 1986 (In: SAYED, 1999))	99

Abb. 5.37:	Temperaturmessungen von Schotterspeicher und Stall sowie die Außentemperatur (HAUSLEITNER und ZAINER, 1999)	99
Abb. 5.38:	Dampfkühlungssystem eines modernen Betriebs für Milchviehhaltung in <i>Saudi-Arabien</i> (Al-Safi Milchviehbetrieb) (www.arte.tv/de)	102
Abb. 5.39:	Windfänge gehören zum architektonischen Ausdruck der traditionellen Gebäude in ariden Gebieten. Die höchsten Windtürme mit 33 m des <i>Dowlat-Abad-Gartens (Yazd/Iran)</i> (A'ZAMI, A. 2005)	104
Abb. 5.40:	Kühlung eines modernen Einkaufszentrums in den V.A.E. durch Windtürme (WIRTH, 2000)	104
Abb. 5.41:	Luftauslass eines Windturmes mit diagonalen Einteilung (FATHY, 1986)	104
Abb. 5.42:	Funktionsweise eines Windturms in Verbindung mit Grundwasser zur Kühlung. Links: Windturm mit Erdtunnel, rechts: Windturm mit Grundwasserkühlung / Windsog aufgrund Bernoullieffekt an einer Kuppel „Kuppelleffekt“ (NACHTIGALL, 2003)	105
Abb. 5.43:	Versuchsdarstellung zur Entwicklung eines Windfanges für einen Milchviehstall in <i>Saudi-Arabien</i> (MARZOOK und ABDELHAFEEZ, 1992)	107
Abb. 5.44:	Funktionsweise des Erdwärmetauschers (DIBOWSKI, 2001)	109
Abb. 5.45:	Prozentuelle Änderung des Gesamtenergieertrages für Heiz- und Kühlbetrieb des definierten EWT in Abhängigkeit einzelner Einflussgrößen (BLÜMEL und FINK, 2003)	110
Abb. 5.46:	Erdreichtemperatur bis 15 m Tiefe (RANFT und FROHN, 2004)	111
Abb. 5.47:	Jahrestemperaturverlauf der Außenluft, Erdoberfläche und des Erdreichs in verschiedenen Tiefen für den Boden „Kies - trocken“ (Graz) (BLÜMEL und FINK, 2003)	111
Abb. 5.48:	Berechnete Stalltemperatur in einem Mastschweinstall ohne und mit Aufbereitung der Zuluft (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997)	115
Abb. 6.01:	Mittlere jährliche Globalstrahlung auf waagerechte Flächen in [kWh/m ²] (STOY, 1980)	119
Abb. 6.02:	Durchschnittliche jährliche Sonnenscheindauer und Globalstrahlung in der Bundesrepublik (www.stmwivt.bayern.de)	119
Abb. 6.03:	Einfluss des Neigungs- und Azimutwinkels auf die relative Einstrahlung (MITTERMAIR et al., 1995)	120
Abb. 6.04:	Ideale Ausrichtung und Neigung des Daches auf die eingestrahlte Energie mit der möglichen Abweichung (WEIß, 1993)	120
Abb. 6.05:	Gemessene Höchsttemperaturen auf der Oberfläche von Faserzement-Wellplatten (HAAKE und BOCKISCH, 2003)	121
Abb. 6.06:	Versuchsdarstellung und gemessene Werte	122
Abb. 6.07:	Beispiel eines Programms zur Errechnung des Sonnenstands (www.stadtklima-stuttgart.de)	122
Abb. 6.08:	Gemessene Lufttemperatur und Oberflächentemperatur der grauen und weißen Betonplatten (Neigung 60°)	124
Abb. 6.09:	Gemessene Lufttemperatur und Oberflächentemperatur der grauen und weißen Betonplatten (Neigung 90°)	124
Abb. 6.10:	Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus	125
Abb. 6.11:	Aufstellung der Betonplatten im Versuch mit der Ausrichtung nach Süden	125
Abb. 6.12:	Temperaturmessungen an der Oberseite geneigter und durch Sonnenstrahlung erwärmter Betonplatten	128
Abb. 6.13:	Temperaturmessungen an der Unterseite geneigter und durch Sonnenstrahlung erwärmter Betonplatten	128
Abb. 6.14:	Oberflächentemperaturen verschiedener Materialien an einem strahlungsreichen Sommertag (KRUSCHE et al., 1982)	130
Abb. 6.15:	Sonnenlufttemperaturen und Außenlufttemperaturen an Tagen mit max. Temperatur 32 °C in Berlin (bearb. nach RECKNAGEL et al., 2005)	130
Abb. 6.16:	Darstellung des Einflusses der Gebäudemasse auf den zeitlichen Verlauf der Raumtemperatur an Sommertagen (Wuppertal Institut für Klima, 1996 (In: FISCH, 2005))	131
Abb. 6.17:	Speicherung von Sonnenstrahlungswärme bei Fenstern auf Südseite für leichte und schwere Bauweise, 24-stündiger Betrieb (bea. n. RECKNAGEL et al., 2005)	131
Abb. 6.18:	Wirkung von Phasenverschiebung und Amplitudendämpfung an einem Dach (bearb. n. LÖFFLAD und RANFT, 2000)	131
Abb. 6.19:	Versuchsaufbau auf dem FAL-Gelände	132
Abb. 6.20:	Zeichnerische Darstellung des gemessenen Temperaturverlaufes an den Oberflächen und nach -25 cm innen sowie dem Kern.	132
Abb. 6.21:	Programm zur Berechnung des Sonnenstands (www.stadtklima-stuttgart.de)	133
Abb. 6.22:	Grafische Darstellung der zeitbezogenen Temperaturen	136
Abb. 6.23:	Oberflächen- und Kerntemperaturen an der durch Sonneneinstrahlung erwärmten südlichen Seite des Betonquaders	136
Abb. 6.24:	Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus in der Klimakammer	137
Abb. 6.25:	Versuchsaufbau in der Klimakammer des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung zur Messung der Kerntemperatur und der Temperaturangleichung bei unterschiedlichen Baustoffen	138
Abb. 6.26:	Versuchsverlauf in der Klimakammer	138

Abb. 6.27:	Grafische Darstellung für „Januar“ zur Messung von Oberflächen und Kerntemperatur	140
Abb. 6.28:	Grafische Darstellung für „Oktober“ zur Messung von Oberflächen und Kerntemperatur	140
Abb. 6.29:	Grafische Darstellung für „September“ zur Messung von Oberflächen und Kerntemperatur bei unterschiedlichen Baustoffen	140
Abb. 6.30:	Darstellung von Phasenverschiebung und Temperatur-Amplituden-Verhältnis (TAV)	141
Abb. 7.01:	Mindestabstandskurve für Rinderanlagen mit Bestandsgrößen zwischen 100 und 3000 GV (VDI 3474, 2001 (In: SMUL, 2008))	146
Abb. 7.02:	Modulierung der Hauptfunktionsbereiche der Lösungsvorschläge	151
Abb. 7.03:	Die Grundidee	152
Abb. 7.04:	Lösungsvorschlag (L _A): Geschlossener Stall (Lageplan, Grundriss der Stallgebäude, Südliche Ansicht, Abschnitte)	155
Abb. 7.05:	Lösungsvorschlag (L _A): Geschlossener Stall (Perspektivische Ansicht, Außenperspektive, Innenperspektive)	156
Abb. 7.06:	Lösungsvorschlag (L _A): Geschlossener Stall (Grundriss der Stalleinheit)	157
Abb. 7.07:	Lösungsvorschlag (L _A): Geschlossener Stall (Funktionsbereiche: Fütterung, Melken und Misten)	158
Abb. 7.08:	Lösungsvorschlag (L _A): Geschlossener Stall (Funktionsbereich: Lüftung, Perspektivische Darstellung eines Innenhofes und der Lüftungsfunktion (Tag und Nacht))	159
Abb. 7.09:	Lösungsvorschlag (L _A): Geschlossener Stall (Weiterentwickelte Ideen)	160
Abb. 7.10:	Die Grundidee	161
Abb. 7.11:	Lösungsvorschlag (L _B): Halb geschlossener Stall (Lageplan, Vogelperspektive, Grundriss der Stallanlage)	165
Abb. 7.12:	Lösungsvorschlag (L _B): Halb geschlossener Stall (Perspektivische Ansichten, Perspektivischer Abschnitt)	166
Abb. 7.13:	Lösungsvorschlag (L _B): Halb geschlossener Stall (Grundriss der Stalleinheit, Vogelperspektive, Innenperspektive des Liegebereiches)	167
Abb. 7.14:	Lösungsvorschlag (L _B): Halb geschlossener Stall (Innenperspektive)	168
Abb. 7.15:	Lösungsvorschlag (L _B): Halb geschlossener Stall (Darstellungen zur Stallkonstruktion, Lüftungsfunktion (Tag und Nacht))	169
Abb. 7.16:	Lösungsvorschlag (L _B): Halb geschlossener Stall (Weiterentwickelte Ideen)	170
Abb. 7.17:	Lösungsvorschlag (L _{C1}): Offenstall (Ansicht, Grundriss der Stallgebäude, Abschnitt mit Lüftungsfunktion)	174
Abb. 7.18:	Lösungsvorschlag (L _{C2}): Offenstall (Grundriss des Stallgebäudes)	175
Abb. 7.19:	Lösungsvorschlag (L _{C2}): Offenstall (Alternativen zur Dachgestaltung für die Stalllüftung)	176
Abb. 7.20:	Lösungsvorschlag (L _{C2}): Offenstall (Grundriss, Praktische Versuchsausführung für Dachgestaltung und Lüftung)	177
Abb. 7.21:	Die Lüftungsrate im Sommer soll gleichzeitig den Wasserdampf abführen, den Hitzestau und zu hohe CO ₂ -Konzentrationen verhindern (VAN CAENESEM, 1994A)	181
Abb. 7.22:	Regelschema zum Verstellen der Lüftungsöffnungen in einem großflächigen Stallgebäude (MÜLLER, WEGHE, 1992)	182
Abb. 7.23:	Wärmeproduktion und Luftvolumenströme für Milchkühe (bearb. n. Tab. 7.05)	183
Abb. 7.24:	Darstellungen und Details der Zuluftöffnungen	187
Abb. 7.25:	Gestaltung des Zuluftkanals - Vergleich zwischen Haupt- und entwickeltem Plan	188
Abb. 7.26:	Verschiedene Alternativen zur Gestaltung des Zuluftkanals und des EWT	188
Abb. 7.27:	Details der Zuluftöffnung der Lösung (L _B)	189
Abb. 7.28:	GAEA-Programm	191
Abb. 7.29:	Vorschläge zur Planung der EWT-Register für die Lösungen (L _A) und (L _B)	194

10.3 Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 2.01: Herkunft von tierischem Eiweiß für die Versorgung der Menschen in 2003 [g/Person/Tag] [%] (bearb. nach FAOSTAT, 2009)	10
Tab. 2.02: Ernährungskonsum in der Welt und zum Vergleich in Deutschland und Syrien in 2003 [g/Person/Tag] (bearb. nach FAOSTAT, 2009)	10
Tab. 2.03: Verbrauch der 10 wichtigsten tierischen Ernährungsprodukte in der Welt und zum Vergleich in Deutschland und Syrien in 2003 [Kcal/Person/Tag] (bearbeitet nach FAOSTAT, 2009 und FAO Statistical Yearbook 2005/2006)	11
Tab. 2.04: Relative Bedeutung verschiedener Fleischarten bezogen auf den Eiweißkonsum aus Fleisch nach Regionen und einige Länder der Welt [g/Person/tag] [%] (bearb. nach FAOSTAT, 2003)	11
Tab. 2.05: Milchproduktion und Milchkonsum in der Welt im Jahr 2003 (FAO Statistics Division, 2009)	12
Tab. 2.06: Verteilung der Bevölkerung und der Rinder nach Erdteilen und ausgewählten Ländern im Jahr 2007 (berechnet nach FAOSTAT, 2009; ^{*)} Population Reference Bureau)	16
Tab. 2.07: Gliederung der intensivierten Tierproduktion in den Tropen nach Produktionsabschnitten	20
Tab. 3.01: Entwicklung der Bodennutzung in Syrien zwischen 2001 und 2007 (SARSTAT, 2005, 2008; SARSTAT Ldw, 2007)	30
Tab. 3.02: Exporte und Importe von Rindern und Milch in Syrien und Deutschland in 2005 zum Vergleich (FAOSTAT, 2008)	32
Tab. 3.03: Verbreitung des Rinderbestandes in Syrien (SARSTAT Ldw, 2007)	33
Tab. 3.04: Verteilung der Rinder und Milchproduktion, Niederschläge, Weidefläche und Zahl der Bevölkerung auf die syrischen Bezirke 2004 (SARSTAT Ldw, 2007)	34
Tab. 3.05: Körpermaß-Vergleich zwischen Damaskusrind und Friesian (BROWN, 1960)	35
Tab. 3.06: Milchproduktion von lokalen Rinderrassen in Westasien und Nordafrika (LEGEL, 1989)	36
Tab. 3.07: Mittlerer Futterverzehr von 10 Friesian- und 10 Shami-Kühen unter subsubtropischen Bedingungen in Syrien (LEGEL und TAFRAN, 1970)	37
Tab. 3.08: Tägliche Sonneneinstrahlung auf einer horizontalen Fläche auf Meereshöhe in cal/cm ² (Lippsmeier, 1980; Jabbour, 1984)	42
Tab. 3.09: Charakteristische Klimawerte der Stadt Homs (Mittelsyrien) (Alex, 1985; Jabbour, 1984 ; klimatischer Atlas Syriens)	44
Tab. 3.10: Stündliche und monatliche Temperaturwerte der Stadt Homs	44
Tab. 4.01: Körpermaße von Kühen bei einer Standardkuh (CIGR-Standard 1993 (In: BARTUSSEK et al., 2008))	45
Tab. 4.02: Tierlebendmasse in Großvieheinheiten für verschiedene Rinderarten	46
Tab. 4.03: Berechnung und Definition der Boxenmaße für bequeme Liegeboxen für 600 und 700 kg schwere (BARTUSSEK et al., 2008; BARTUSSEK, 1996)	49
Tab. 4.04: Empfehlungen zu den Stallabmessungen an Aufstallungssystemen (Entscheidungsgrundlagen für Stallbauten) (AMMANN et al., 2002; BVET, 2005; Heller, 2003; FÜRCHUSS et al., 2004; VO-EG 1804-1999; BARTUSSEK, 2000; Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf, 2008)	49
Tab. 4.05: Maximale Spaltenbreiten für Betonspaltenböden (BVET, 2003; ^{*)} THVO, 2004)	52
Tab. 4.06: Krippengestaltung im Laufstall und Empfehlung für Abmessungen (ART, 2006)	54
Tab. 4.07: Mindestmaße der Fressplatzbreite für durchschnittliche Tiergewichte (THVO, 2004)	55
Tab. 4.08: Fressplatzlängen gemäß den Formeln für Kühe (BARTUSSEK et al., 2008)	55
Tab. 4.09: Tier- Fressplatz-Verhältnis (TFV) und Flächenangaben verschiedener Liegeboxenaufstellungsvarianten (SMUL, 2008)	55
Tab. 4.10: Einige Daten über Fütterung, Tränken und Troglänge (BARTUSSEK et al., 2008; Damm, 1993)	58
Tab. 4.11: Raumbedarf für die Milchgewinnung (KRÄUSSLICH, 1981; KTBL 1976,1978)	59
Tab. 4.12: Gülleanfall und Lagerraum sowie Dungplatte für jede Tierart (DAMM, 1993)	63
Tab. 4.13: Abmessungen der Kanäle für Flüssigmistsystem (DAMM, 1993)	63
Tab. 4.14: Arbeitsbreiten und Arbeitshöhen bei verschiedenen Stufen der Mechanisierung mit mobilen Geräten (BARTUSSEK et al., 2008)	70
Tab. 5.01: Reflexion und Absorption einiger Materialien und Oberflächenbehandlung (LIPPSMEIER, 1980; JABBOUR, 1984; ESMAY, 1978)	77
Tab. 5.02: Wärmeeintrag durch ungedämmte Dächer und daraus resultierende Luftrate je Kuh (HAIDN et al., 2008)	82
Tab. 5.03: Empfohlene Luftgeschwindigkeit in Rinderställen im Zusammenhang mit Lufttemperatur und Kühlungswirkung (RICHTER, 1992; HAUSLEITNER, 2001)	89
Tab. 5.04: Heiz- und Kühlleistung des EWT in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms (RANFT und FROHN, 2004)	110

Tab. 5.05:	Temperatur am Ausgang von drei Rohren mit unterschiedlichem Durchmesser (d) in einer Tiefe von 1,50 m. Eingangstemperatur 28,8 °C, Luftgeschwindigkeit 2 m/s. (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997)	112
Tab. 5.06:	Mittlerer Wärmeaustausch in Wh/m ³ Lufrate während 12 Std. für vier verschiedene Luftgeschwindigkeiten (v). (Rohrdurchmesser: 251 mm, Temperaturdifferenz - Boden am Anfang: 10 °C. Außenlufttemperatur konstant, Rohrlänge: 15 m. Modelberechnung) (VAN CAENEGEM und DIDIER, 1997)	113
Tab. 5.07:	Wertebereiche der wichtigsten thermischen Bodenparameter	114
Tab. 5.08:	Versuchsergebnisse und Darstellung des Versuchsaufbaus (BARTOLOMEU, 2005)	116
Tab. 6.01:	Spezifische Strahlungsleistung und Anteil der diffusen Strahlung bei verschiedenen Wetterbedingungen (LADENER und SPÄTE, 2003)	118
Tab. 6.02:	Beispielhaft die am 29. Juli 2005 gemessenen Temperaturen	126
Tab. 6.03:	Klassifizierung der Neigungswinkel der Betonplatten von der kältesten und der wärmsten Oberflächentemperatur und der Zusammenhang mit der höchsten Lufttemperatur	127
Tab. 6.04:	Klassifizierung der Neigungswinkel der Betonplatten von der kältesten und wärmsten Oberflächentemperatur und der Zusammenhang mit der höchsten Sonneneinstrahlung	127
Tab. 6.05:	Phasenverschiebung eines Daches in Abhängigkeit vom Dämmstoff (Energieagentur NRW, 2003)	131
Tab. 6.06:	Zusammenfassung der maximalen Lufttemperaturen und Oberflächentemperaturen für jede Betonwürfelseite	134
Tab. 6.07:	Zusammenfassung der entsprechenden Ergebnisse der Phasenverschiebung und Temperaturdifferenz für jede Betonwürfelseite	135
Tab. 6.08:	Einige bauphysikalische Eigenschaften der Versuchsproben	138
Tab. 6.09:	Phasenverschiebung	141
Tab. 6.10:	Berechnung des TAV- Werts	141
Tab. 6.11:	Berechnung der Auskühlkennzeit (z), Temperaturleitzahl (a) und Wärmeeindringzahl (b)	141
Tab. 7.01:	Verwendung des Moduls M:120 und dessen Einfluss auf einige Stallfunktionen der Lösungsvorschläge mit Vergleich mit einige Quellen	150
Tab. 7.02:	Sommerluftraten und Luftvolumenströme (CIGR 1984 (In. SMUL, 2008))	180
Tab. 7.03:	Kühlwirkung der Luft durch Nutzung der Verdunstungskälte (BARNWELL, 2002 (In. BÜSCHER, 2004A); BARNWELL, 1997 (In. HEIDENREICH, 2006))	181
Tab. 7.04:	Lüftungsfläche für freie Lüftung im Sommer in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (RICHTER, 1992)	182
Tab. 7.05:	Gesamtwärmeproduktion (Q _{tot}), Sensible Wärme (Q _{ST,S}) und sommerliche Luftvolumenströme (m ³ /h)	183
Tab. 7.06:	Berechnung der Zuluftöffnung für gesamte Stalleinheit und für jedes Tier - Lösung (L _A)	186
Tab. 7.07:	Berechnung der Zuluftöffnung für gesamte Stalleinheit und für jedes Tier der Lösung (L _A)	189
Tab. 7.08:	Verschiedene Alternativen von EWT für eine Einheit der Lösung (L _A)	190
Tab. 7.09:	Verschiedene Alternativen von EWT für eine Einheit der Lösung (L _B)	190
Tab. 7.10:	Verschiedene Alternativen von EWT für den gesamten Stall der Lösung (L _B)	191
Tab. 7.11:	EWT-Berechnungen und Simulation für Lösungsvorschlag (L _A)	192
Tab. 7.12:	EWT-Berechnungen und Simulation - Lösungsvorschlag (L _B)	193
Tab. 7.13:	Vergleich zwischen den Alternativen	198

ANHANG

1

Zu allgemeine Grundlagen der Milchviehhaltung**A1.1 Stall- und Haltungssysteme**

In der Rinderhaltung wird zwischen geschlossenen Ställen und offenen Ställen unterschieden. Ein geschlossener Stall ist ein Warmstall, dessen Umschließungsflächen (Wände, Decken, Fenster, Tore) ausreichend wärmegeklämt sind. Ein Offenstall ist ein Kaltstall, der in Leichtbauweise mit geringem oder ohne konstruktiven Wärmeschutz gefertigt ist, und bietet nur Schutz vor Niederschlägen und gegen extremen Sonnenschein.

Die Wärmedämmung der Außenbauteile des geschlossenen Stalls führt zu einer geringeren Aufheizung des Stalles bei Sonnenschein an heißen Tagen. Wenn die Dämmung nicht nur aus leichten Dämmstoffen, sondern aus massiven Konstruktionen (z.B. Hochlochziegel, Lehm) besteht, wird der sommerliche Wärmeschutz nochmals verbessert, da dann die vorhandene Wärmespeicherfähigkeit der massiven Bauteile zu einer beträchtlichen Dämpfung der täglichen Temperaturschwankungen im Stall führt, die Tagesspitzen also gesenkt werden. An warmen Standorten kann das ein beträchtlicher Vorteil des geschlossenen Stalls sein. In der heißen Jahreszeit können sich ungedämmte Ställe durch die Sonneneinstrahlung beträchtlich aufheizen.

Bei Aufstellungsformen der Milchkühe kann man grundsätzlich zwischen Anbinde- und Laufställen unterscheiden. Bei Laufställen gibt es verschiedene Stallsysteme und zwar: Tieflaufstall, Tretmiststall, Fressliegeboxenlaufstall und Liegeboxenlaufstall.

A1.1.1 Anbindstall

Der Anbindstall ist gekennzeichnet durch die Fixierung der Tiere an einem Platz, der allen notwendigen Funktionen gerecht werden muss. Er bringt von allen Stallsystemen die besten Voraussetzungen zur Einzelbetreuung hochleistender Milchkühe mit. Jedes einzelne Tier kann an seinem festen Platz leichter beobachtet, nach Leistung gefüttert, kontrolliert und behandelt werden.

Für die Haltung müssen die Tiere gleichzeitig liegen und aufrecht stehen können. Das bedeutet, dass die Standplatzbreite (0,9 x Widerristhöhe) und die Standplatzlänge mindestens 190 cm (0,92 x schräge Rumpflänge + 30 cm) sein muss. Die Stand- und Liegefläche der Tiere muss wärmegeklämt, rutschsicher und trocken sein. Der Futtertisch soll befahrbar und mit Klinkerplatten oder ähnlichem Material ausgelegt sein. Kraftfutterschalen mit Abweisbügel für Nachbartiere sorgen für mehr Ruhe beim Fressen. Für das Tränken muss eine Tränke für zwei

Tiere über der Krippe angebracht werden. Tränken sollten sich in 70 cm Höhe befinden.

Der Anbindstall ist grundsätzlich nicht als artgerechtes Haltungssystem für Milchvieh anzusehen. Die geringe Bewegungsfreiheit, die fehlende Trennung der Funktionsbereiche Fressen und Liegen und der sehr stark eingeschränkte Sozialkontakt zu den Artgenossen kann zu Haltungsschäden, Bewegungsstau und insgesamt zu einem reduzierten Wohlbefinden der Tiere führen (KRÄUSSLICH, 1981).

Die Rechtsgrundlagen für Anbindehaltung der Tierschutzverordnung schreiben vor (TSchV, 1981)

- Die für ein Tier notwendige Bewegungsfreiheit darf nicht dauernd oder unnötig eingeschränkt werden, wenn damit für das Tier Schmerzen, Schäden oder Leiden verbunden sind.
- Tiere dürfen nicht dauernd angebunden gehalten werden.
- Rindvieh, das angebunden gehalten wird, muss sich regelmäßig, mindestens jedoch an 90 Tagen pro Jahr außerhalb des Stalls bewegen können.
- Von den mindestens 90 Tagen Auslauf pro Jahr ist mindestens ein Drittel während der Winterfütterungsperiode zu gewähren. Der regelmäßige Auslauf ist so zu gestalten, dass die Tiere nicht über mehrere Wochen ohne Unterbrechung angebunden sind.

Der regelmäßigen Bewegung außerhalb des Stalls kommt große Bedeutung zu. Der nachhaltige Einfluss der Bewegung auf Gesundheit, Kondition, Fruchtbarkeit und Leistung der Tiere wirkt sich nur bei regelmäßigem Auslauf aus. Erst der Aufenthalt außerhalb des Stalls ermöglicht dem Tier uneingeschränktes Körperpflegeverhalten.

A1.1.2 Laufstall

Die Ansprüche an eine artgemäße Haltungsumwelt für Rinder können in verhaltensgerechten Laufstallsystemen erfüllt werden. Im Laufstall kann für jedes Verhalten (z.B. Futteraufnahme, Ruhen, Fortbewegung etc.) ein eigens dafür optimierter Ort gestaltet werden. Für den Tierhalter bringt der Laufstall neben Arbeitsvereinfachungen und damit einer Verringerung des Arbeitsaufwandes auch deutliche Arbeitserleichterungen (Fütterung, Entmistung, Melkarbeit). Ist noch dazu die Grundrisslösung des Laufstalles gut durchdacht und entspricht der Auslauf den Ansprüchen der Tiere, werden bei Rindern vergleichbare Fortbewegungsleistungen wie auf Tagesportionsweiden beobachtet (Training des Bewegungsapparates und Adaptationsvermögens, Förderung der Klauengesundheit) (FÜRSCHUSS et al., 2004). Die Vor- und Nachteile des Laufstalls können in den folgenden Punkten benannt werden.

Die Vorteile:

- Die Tiere können ihre Verhaltensansprüche besser befriedigen (grundsätzlich das tiergerechtere Haltungssystem).
- Haltungsbedingte Verletzungen und Schäden kommen selten vor.
- Verhaltensstörungen treten weniger auf.
- In Laufställen kommen weniger schwere Arbeitsunfälle vor.
- Das Laufsystem wirkt sich positiv auf die Lebensleistung aus.
- Die Haltung der Kühe in Laufställen führt zur Verbesserung des Gesundheitszustandes und damit zur Verbesserung der unmittelbar beeinflussten Merkmale. Es kann daher angenom-

men werden, dass sich in vorbildlichen Laufstallanlagen mindestens die gleiche Milchleistung erzielen lässt.

Die Nachteile:

- Herdenbetreuung ist kompliziert zu kontrollieren, weil die Tiere sich frei bewegen.
- Die Verschmutzung der Tiere kann im Laufstall stärker sein als bei anderen Stallsystemen.
- Werden die Böden der Laufgänge nicht sorgfältig und richtig ausgeführt, kann es im Laufstall zu einer stärkeren Belastung oder gar Schädigung der Klauen kommen.

Die vorherrschenden Laufstallsysteme bei Milchkühen sind der Boxenlaufstall, der Tiefstreu- und der Tretmiststall. Durch die Trennung der Funktionsbereiche können die verschiedenen Bereiche entsprechend der Verhaltensbedürfnisse der Tiere angepasst werden (GÖT, 2003).

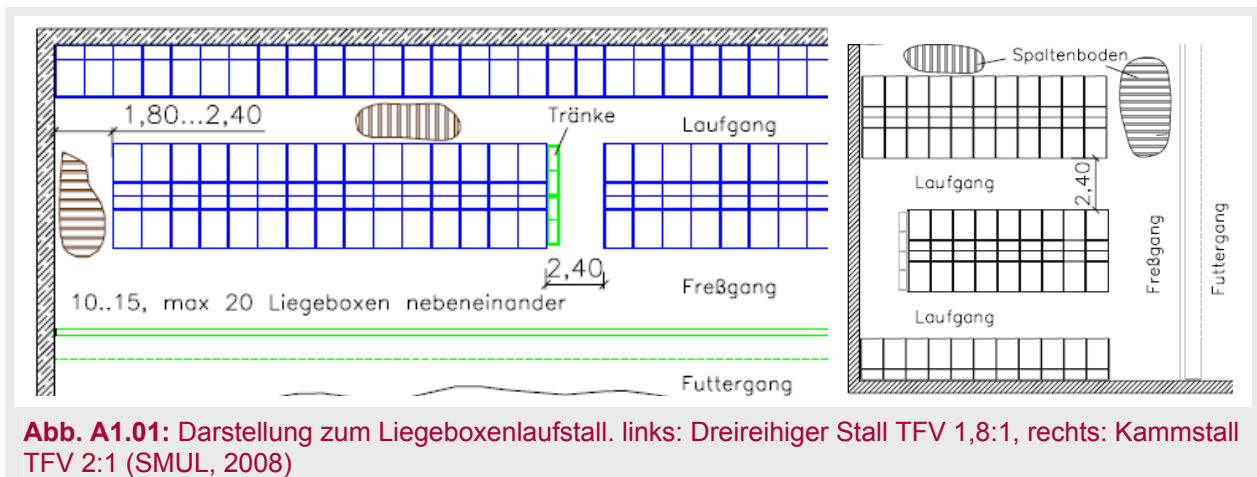
A1.1.2.1 Liegeboxenlaufställe

In Boxenlaufställen ist die Liegefläche durch Liegeboxen unterteilt und die Bewegungsfreiheit der Rinder ist auf bestimmte Wege beschränkt. Ökonomische Aspekte wie geringerer Liegeflächenbedarf, geringer Einstreubedarf und die einfachere Sauberhaltung der Tiere sprechen für den Liegeboxenlaufstall (FÜRSCHUSS et al., 2004).

Die Liegeboxen sind ein zentrales und ganz wesentliches Element des Liegeboxenlaufstalles. Jedem Tier steht eine Liegebox zur Verfügung, deren Größe an die jeweilige Altersklasse angepasst ist. Der Liegeboxenstall ist eine reihenweise Anordnung von abgeteilten Liegeplätzen entlang der Wände oder eine Anordnung als Doppelreihen in der Stallmitte. Die Boxen können sowohl als wand- als auch als gegenständige Liegebox gestaltet sein. Wandständige Boxen benötigen aufgrund der vorderen Begrenzung durch die Wand im Kopfbereich mehr Platz als gegenständige Boxen (GÖT, 2003). Die Liegeboxen können parallel zum Futtertisch angeordnet sein. Die Anordnung könnte in einer bis vier Reihen sein oder um 90 Grad versetzt sein (Kammstall) (Abb. A1.01).

Die Liegeboxen sind eingestreut. Auch Gummimatten oder Matratzen sind als Bodenbelag geeignet. Die Laufgänge sind mit Spaltenboden ausgelegt oder sie sind planbefestigt. Ein befahrbarer Futtertisch mit Futterkrippen wird in der Mitte angeordnet. Der Mistplatz beschränkt sich auf die Flächen zwischen Futterplatz und Liegebuchten. Die Güllelagerung erfolgt entweder unter den Spalten oder in separaten Güllebehältern. Jedem Tier steht ein Fressplatz zur Verfügung.

Ziel der Milchviehhaltung ist seit Einführung des Boxenlaufstalles den Tieren mehr Raum in einfachen, kostensparenden Gebäuden zu geben. Dabei wurde zunehmend Kosteneinsparung durch Funktionstrennung gesucht. Außerdem kommt eine verstärkte funktionelle Differenzierung der Stallbereiche hinzu, die durch den elektronischen Fortschritt auch bezüglich eines vereinfachten Managements zunehmend erleichtert wird. Der Boxenlaufstall ist eine weit verbreitete Stallform im Milchviehbereich.



A1.1.2.2 Tieflaufstall

Der Tiefstreustall oder auch Tieflaufstall bietet den Tieren eine freie, ebene und saubere eingestreute Liegefläche, einen Laufgang und Fressplätze. Die Tiere können sich auf der Tiefstreulfläche einen freien Liegeplatz suchen und sich unbeeinflusst von Boxenabtrennungen oder Gefälle niederlegen. Eine optimale Gestaltung ausreichender Ausweichfläche muss nach allen Seiten vorhanden sein.

Laufgänge verbinden die Teilflächen und sind entweder aus Spaltenboden oder einem befestigten Lauf- und Fressbereich. Grundfutter wird am Futtertisch vor dem befestigten Fressplatz den Tieren vorgelegt. Für das Kraftfutter stehen bei Herden über 25 Tieren eine oder mehrere Abrufstationen zur Verfügung.

Dieser Stall erfordert relative geringe Investitionskosten für Bau und Einrichtung. Einfachste Gebäude können genutzt bzw. neu errichtet werden. Der Stall lässt sich einfach mechanisieren und ist leicht zu handhaben (Abb. A1.02).

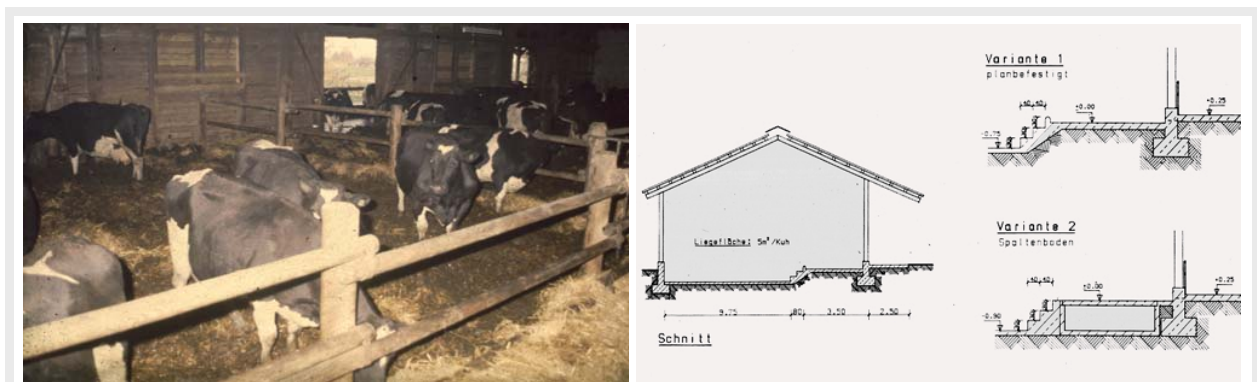


Abb. A1.02: Foto und Darstellung eines Tieflaufstalles (<http://mediatum2.ub.tum.de>)

A1.1.2.3 Tretmiststall

Der Tretmiststall bietet ebenso wie der Tiefstreustall eine freie schräge Liegefläche, die ein Gefälle von etwa 5 - 10 % zum Fressgitter bzw. zum Laufgang aufweist. Die Tiere liegen und bewegen sich auf dieser eingestreuten, leicht geneigten Fläche ohne Liegeboxen. Eingestreut wird im oberen Liegebereich der Tiere. Möglichkeiten der Mechanisierung der Einstreuarbeiten sind dabei gegeben. Der Laufgang vor dem Fressgitter wird regelmäßig entmistet. Durch die

Bewegung der Tiere wird das Stroh verteilt und zusammen mit Kot und Harn in Richtung des Gefälles in den Mistgang getreten. Die Liegefläche muss ausreichend tief sein, da die unteren 1 bis 2 Meter meist verschmutzt sind und nicht zum Abliegen genutzt werden.

Für die Fütterung wird das Grundfutter auf dem Futtertisch mit einfachem Stangen- oder Fangfressgitter vorgelegt. Das Kraftfutter wird über Abrufstationen verabreicht. Die Tränken werden im Bereich des Fressganges angebracht und nicht im Liegebereich (Sauberkeit) (Abb. A1.03).

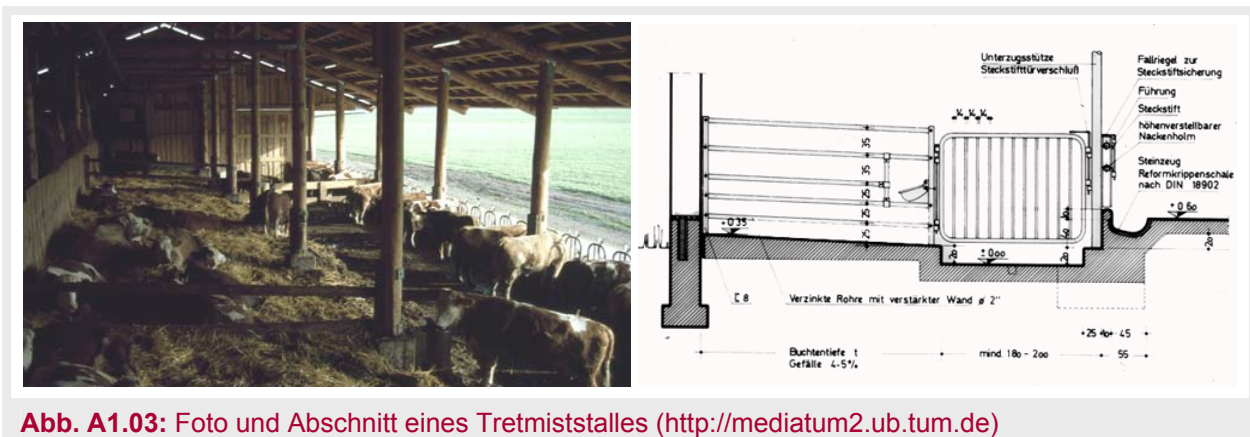


Abb. A1.03: Foto und Abschnitt eines Tretmiststalles (<http://mediatum2.ub.tum.de>)

A1.2 Funktionsbereiche

Die Milchgewinnung ist das Hauptziel von Milchviehhaltung, deshalb sind die Funktionen Füttern, Melken und Misten die wichtigsten beim Milchvieh. Die Futter-, Milch- und Mistmenge wird in der Abb. A1.04 dargestellt. Neben diesen drei Funktionen spielen andere Bereiche wie z.B. Ruhe, Schlafen und Laufen eine große Rolle für die optimale Haltung. Der zeitliche Aufenthalt der Rinder kann aufgeteilt werden, wie in der Abb. A1.05 gezeigt wird.

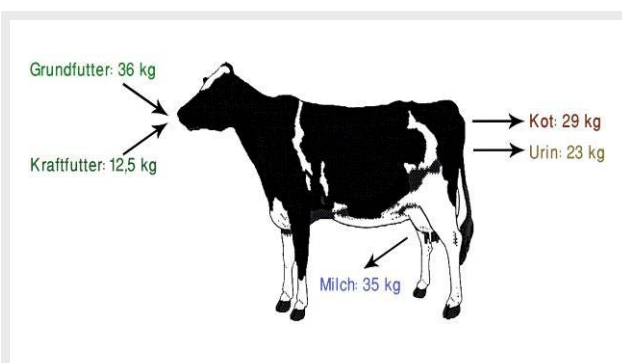


Abb. A1.04: Täglicher Durchschnitt für Futter, Milch und Mistmenge einer Kuh (BOCKMANN et al., 1997)

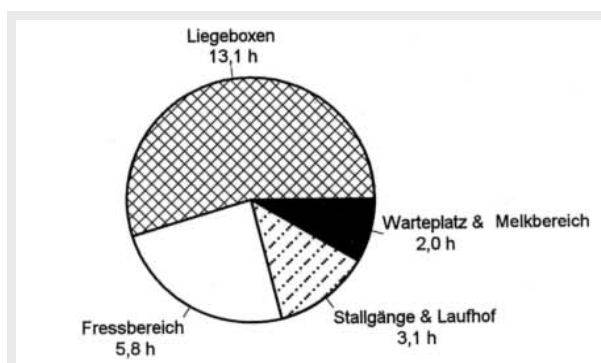


Abb. A1.05: Zeitliche Verteilung der Raumnutzung im Boxenlaufstall während eines Tages (KAUFMANN und KECK, 1997)

A1.2.1 Funktion: Ruhen und Schlafen

Rinder ruhen liegend, manchmal auch stehend, wobei sie hauptsächlich dösen. Bei freier Wahl wird der Liegeplatz immer in unmittelbarer Nähe der Herde und neben dem bevorzugten Ruhepartner aufgesucht. Die tägliche Liegezeit beträgt auf der Weide oder im Laufstall 7 bis 12 Stunden am Tag. Dabei entfällt ein größerer Anteil auf die Nachtstunden.

Zur gleichmäßigen Belastung beider Körperseiten wird die Liegezeit 8-10-mal pro Tag unterbrochen. Dazu stehen die Rinder auf, strecken sich und legen sich wieder auf der andere Seite ab. Dieser normale Ablauf setzt voraus, dass er nicht durch die Beschaffenheit des Liegeplatzes sowie der Einrichtungen zur Fixierung oder Steuerung der Rinder zu stark behindert wird.

Die wichtigsten Ansprüche an die Haltungsumwelt im Ruhebereich sind die Möglichkeit zur freien Liegeplatzwahl, ausreichende Raumverfügbarkeit für ungehindertes Abliege- und Aufstehverhalten sowie die Möglichkeit zur Einnahme aller arttypischen Liegepositionen und ein in der Beschaffenheit trockenes, weiches und verformbares Lager (FÜRSCHUSS et al., 2004). Die Wärmeleitfähigkeit der Liegefläche wirkt sich direkt auf die Liegedauer der Kühe aus. Wenn die Isolierung der Liegeflächen gering ist, verkürzt die Kuh ihre Ruhe- und Liegezeiten, um eine hohe Wärmeableitung am Euter zu verhindern.

Für Liegebereiche unterscheidet man zwei Haupttypen:

- Die Liegefläche als frei eingestreute Fläche: eine nicht unterteilte Fläche wird hier für das Liegen und Ruhen aller Tiere einer Gruppe oder Herde zur Verfügung gestellt. Solche Flächen müssen eingestreut werden und dort wird Festmist erzeugt.
- Die Liegefläche als Liegeboxen: sie wird in jeweils genau auf ein Tier angepasste Einzelflächen unterteilt. Liegeboxensysteme können mit wenig Einstreumaterial funktionieren und können vollständig auf Flüssigmistbasis betrieben werden (BARTUSSEK et al., 2008).

Bei Liegeboxen sind Tief- und Hochboxen zu unterscheiden. Tiefboxen werden eingestreut und die Hochboxen sind mit einem elastischen Belag ausgelegt.

In Boxenlaufställen ruhen Rinder in baulich speziell gestalteten Liegeboxen. Grundsätzlich wird zwischen Tief- und Hochboxen unterschieden, wobei beide Varianten sowohl wand- als auch gegenständig angeordnet sein können.

Tab. A1.01: Körpermaße von Kühen nach einer Standardkuh in [cm] (JAUSCHNEGG, 1994)

Gewicht [kg]	Fleckvieh			Braunvieh			Schwarzbunte		
	WH	KL	SB	WH	KL	SB	WH	KL	SB
550	131	154	49	136	158	48	137	163	48
600	133	157	52	137	161	50	138	166	50
650	135	159	55	137	163	52	139	168	52
700	136	161	57	138	166	54	140	171	53
750	137	164	60	139	168	56	141	173	55
800	139	166	62	140	170	58	142	175	56
850	140	168	64	140	172	59	143	177	58

Tab. A1.02: Mindestmaße für Liegeboxen in [cm] (THVO, 2004)

Tiergewicht [kg]	Boxenlänge wandständig	Boxenlänge gegenständig	Boxenbreite
Bis 300	190	170	85
bis 400	210	200 (190)*	110 (100)*
bis 550	230	220 (210)*	115
bis 700	240	230 (220)*	120
über 700	260	240	125

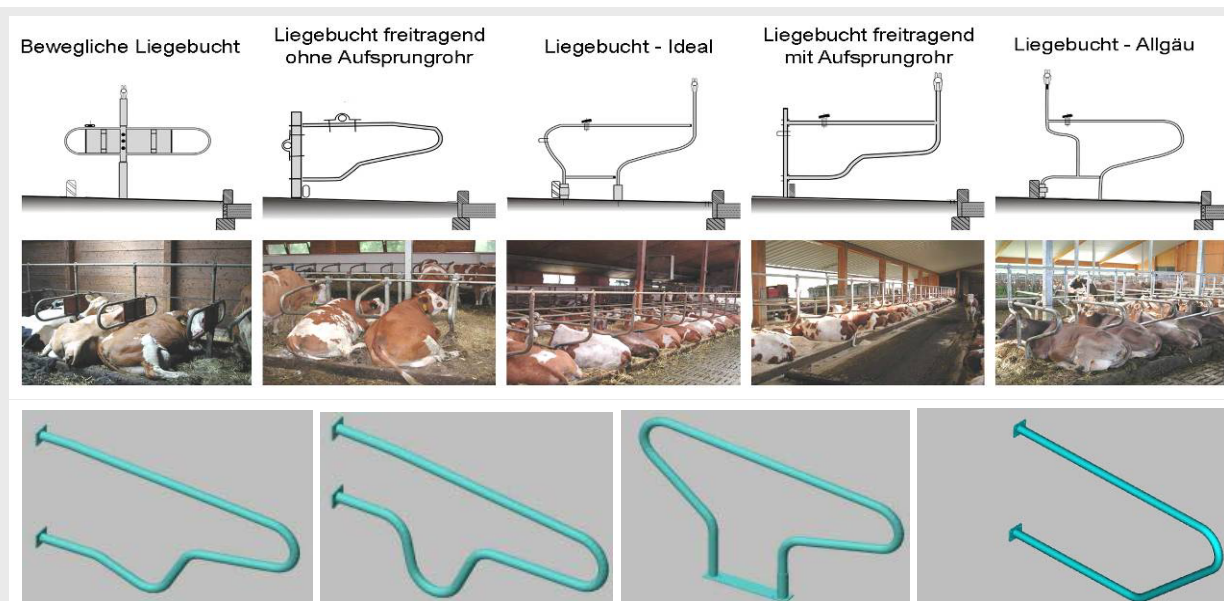
*) nach dem österreichischen Tierschutzrecht

Tab. A1.03: Mindestmaße für den Kurzstand in [cm] (TSV 1995 (In: BARTUSSEK, 1996))

Tiergewicht [kg]		Standlänge			Standbreite		
		Fleckvieh	Braunvieh	Schwarzbunte	Fleckvieh	Braunvieh	Schwarzbunte
Jung- vieh	200	134	133	138	93	95	97
	300	145	146	152	102	105	106
	400	154	158	163	109	112	114
GVE	500	162	167	171	114	118	120
Kühe	600	175	178	183	117	120	123
	700	180	182	187	121	122	123
	800	182	187	193	123	124	125

Tab. A1.04: Mindestbedingungen für die Gruppenhaltung ohne Liegeboxen gemäß Steiermärkischer Nutztierhaltungsverordnung 1996 (TSV 1995 (In: BARTUSSEK, 1996))

Nutzungsrichtung Jung- und Mastvieh	Buchten mit Vollspalten- boden	Einflächen- buchten	Mehrflächenbuchten ohne Boxen		Barn-, bzw. Fressplatzlänge (-tiefe)
	[m ² /Tier]	[m ² /Tier]	Liegefläche [m ² /Tier]	Lauf-, Mist- oder Fressgangbreite [m]	[m/Tier]
bis 350 kg	2,2	3,0	1,8	1,8	0,54
bis 500 kg	2,5	5,0	2,2	2,0	0,60
über 500 kg	2,7	5,0	2,5	2,0	0,70
Milchkühe		5,0	3,0	2,2	0,75

**Abb. A1.06:** Verschiedene Varianten von Bodenbelägen (www.stalltechnik-dieter-rohr.de)**Abb. A1.07:** Verschiedene Varianten von Liegeboxentrennbügeln (www.hoermann-info.de)

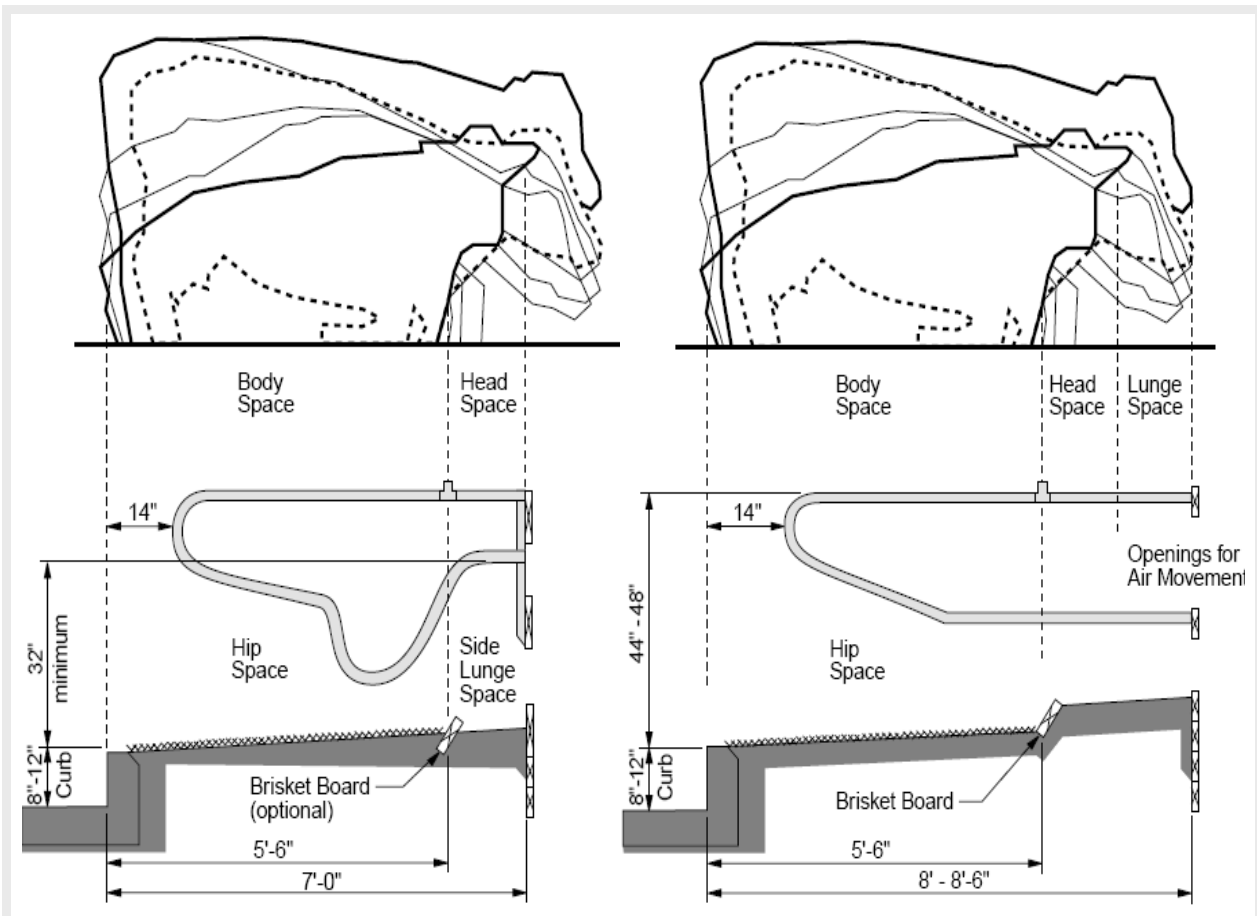


Abb. A1.08: Maße für Hochboxen, links: Kurzstand, rechts: Langstand (AMES, 1995)

A1.2.2 Funktion: Laufen

In der natürlicheren Umwelt ist der größte Teil der Bewegung mit der Nahrungsaufnahme verbunden. Je nach Futterangebot kann die Dauer der Fortbewegung 10 bis 12 Stunden dauern, und es können dabei tägliche Wegstrecken von mehreren Kilometern zurückgelegt werden. Im Laufstall entfällt die Futtersuche. Die Fortbewegung schränkt sich auf die Wegstrecken zwischen verschiedenen Funktionsbereichen ein. Einen wesentlichen Einfluss auf die Fortbewegung haben die Art und der Zustand der Lauffläche des Stalles sowie Grundrisslösung und Stalltyp. Die Lauffläche sollte möglichst trocken und rutschfest sein. Hierzu werden planbefestigte Böden mit mechanischen Entmistungseinrichtungen oder Spaltenböden verwendet (GÖT, 2003).

A1.2.3 Funktion: Fressen und Trinken

Rinder sind Wiederkäuer. Dies ermöglicht ihnen als früher wildlebende Tiere, in relativ kurzer Zeit viel zu fressen und die Verdauung im Liegen auf die Nacht zu verschieben (Sicherheit vor Raubtieren). Die Fütterung der Milchkühe erfolgt auf der Basis von im Betrieb erzeugten Grob- und Kraffuttermitteln und einer wiederkäuergerechten Rationsgestaltung, welche Gesundheit und Leistung der Kühe berücksichtigt und auf Wirtschaftlichkeit ausgerichtet ist. Ziel der ökologischen Milchviehfütterung ist eine maximale Grobfutteraufnahme, die von der Qualität und Schmackhaftigkeit der Futtermittel, dem Fütterungsmanagement usw. abhängt. Angenommen wird eine gute Grobfutterqualität, die mit eiweißbetontem Milchleistungsfutter ergänzt wird.

Rinder fressen täglich durchschnittlich ca. 36 kg Grundfutter und 12 kg Kraftfutter (s. Abb. A1.04). Für hohe Leistungen aus dem wirtschaftseigenen Grundfutter müssen die Rinder täglich etwa 6 Stunden fressen können (BARTUSSEK et al., 1996). Jeweils einige Zeit nach dem Grasen setzt die Wiederkäuertätigkeit ein, die in 10 bis 15 Perioden von je rund dreißigminütiger Dauer unterteilt ist (BARTUSSEK et al., 2008). Sie fressen bis max. 50 000 Bissen/Tag. Nach etwa 30 - 60 Min. Fressen wird mit dem Wiederkauen begonnen (GÖT, 2003). Der Kraftfutteraufwand beträgt 4 dt pro Kuh und Jahr. Für das Trinken wird die Wasserqualität von Rindern mit dem Geruchssinn und besonders dem Geschmackssinn sorgfältig geprüft. Die Qualität muss hygienisch unbedenklich sein, wobei nur sauberes, frisches, warmes und geschmacksneutrales Wasser (pH-Wert: 6,0 bis 8,0) anzubieten ist (FÜRSCHUSS et al., 2004).

Der Wasserbedarf von Rindern nimmt mit dem Alter, dem Trockenmassegehalt des Futters, der Milchleistung und der Umgebungstemperatur zu. Rinder trinken erhebliche Mengen. Bei optimaler Umgebung trinken Kühe etwa 30 - 70 Liter täglich und sie nehmen 18 - 25 Liter pro Minute auf, deswegen müsste der Wasserbedarf jederzeit und in ausreichendem Masse gewährleistet sein (BARTUSSEK et al., 1996).

■ Futterarten

Das Rinderfutter kann unabhängig vom Produktionsverfahren in Grund- und Kraftfutter sowie andere Futtermittel unterteilt werden. In der Milchviehhaltung sind Mineralstoffe und Vitamine für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Tiere unbedingt erforderlich (SMUL, 2000).

- Grundfutter:
 - Frisches Grünfutter: Gras, Klee, Wicken, Luzerne, Weidegras, Rübenblatt, Grünmais,
 - Silagen: Maissilage, Grassilage, Ganzpflanzensilage (Getreide), Zuckerrübenblattsilage,
 - Raufutter: Heu, Stroh,
 - Hackfrüchte: Futter-, Runkelrüben, Kartoffeln.
- Kraftfutter: (schrotig oder pelletiert)
 - Getreide, Hülsenfrüchte, Soja, Misch-, Mineral-, Milchaustauschfutter.
- Andere Futtermittel: (z. B. Nachprodukte der Nahrungsmittelindustrie)
 - Öl-/Fettnachprodukte von Leinsamen oder Raps,
 - Nass-, Press-, Trockenschnitzel aus der Zuckergewinnung,
 - Schlempen, Treber und Trester aus der Getränkeherstellung,
 - Kartoffelpülpe, Stärkewässer aus der Stärkefabrikation.

■ Futterlagerung

Die Getreidelagerung und -aufbereitung erfolgt über alle Verfahrensschritte in einer geschlossenen Anlage. Raufutter wird ebenerdig, deckenlastig (Altbauten) oder in Heutürmen gelagert. Grund- und Kraftfutter werden in Silos gelagert. Hoch- oder Flachsilos werden zur Herstellung und Lagerung von Silage verwendet. Die Silos müssen luftdicht verschlossen sein. Der bei der Silagelagerung anfallende Sickersaft wird aufgefangen und in geschlossenen Gruben gesammelt oder in Güllebehälter außerhalb des Stalles abgeführt (DuSVO, 1999; KTBL, 1990 und 1989; WAGNER und HÜFFMEIER, 1986).

Hochsilos aus Beton, Holz oder Stahl können sich im Freien oder in Gebäuden befinden. Sie

sind luftdicht verschlossen. Flachsilos (Fahrsilos) werden in Form von Siloplaten aus Beton mit oder ohne Seitenwände errichtet. Das Siliergut muss mit Folien abgedeckt sein, die in geeigneter Form zu beschweren sind (DIN 11622, 1994).

■ Fütterungstechniken

In größeren Stallanlagen sind stationäre Fütterungstechniken (Futterband, Futterschnecke, pneumatische Förderung) in Verbindung mit einer Futterlagerung im Hochsilo anzutreffen. Als mobile Fütterungstechniken für Silage werden hauptsächlich Frontlader, Siloblocksneider und Futtermisch- und Verteilwagen eingesetzt. Beim Siloblocksneider wird das Futter aus dem Silostock herausgeschnitten und in den Stall gebracht.

Die Futterverteilung erfolgt bei größeren Beständen durch den Einsatz von Siloentnahmetechnik und Futtermischwagen vollautomatisch, bei kleineren Beständen häufig von Hand (SMUL, 2000).

A1.2.4 Funktion: Melken

Die Tabelle A1.05 zeigt die Innenabmessungen für verschiedene Melkstände. Für kleine Milchviehbetriebe kommen Melkstände in Betracht, bei denen die Kühe während des Melkens an einem Platz festgehalten werden. Für große Kuhherden bietet die Industrie Fließbandverfahren an. Hier werden die Tiere während des Melkens langsam mechanisch vom Eingang zum Ausgang bewegt. Bei Melkständen gibt es ein Verhältnis zwischen den zu melkenden Kühen und den Melkpersonen; dieses Verhältnis wird in der Tabelle A1.06 beschrieben.

Tab. A1.05: Lichte Innenabmessungen für Melkstandräume (DAMM, 1993)

Typ des Melkstandes	Größe	Abmessungen [m]		
		Länge	Breite	Grubenbreite
Quadrat	4 St.	3,35	2,8	1,52 / 1,00
Stall-Weidestand	5 St.	4,75	2,8	2,95 / 1,00
Querreihenstand	4 St.	4,30 - 4,40	5,8 - 6,00	0,55 - 0,60
	6 St.	6,45 - 6,60	5,8 - 6,00	0,55 - 0,60
Tandem	2 X 2	6,70 - 7,10	5,40	1,80
	2 X 3	9,10 - 9,70	5,40	1,80
	2 X 4	11,50 - 12,30	5,40 - 5,85	1,80 - 2,25
	2 X 5	13,90 - 14,90	3,85	2,25
Durchtreibestand				
oder Längsmelkstand	2 X 2	6,70 - 7,10	3,50	1,80
oder Reihenstand	2 X 3	9,10 - 9,70	3,50	1,80
Fischgräten	2 X 2	6,00 - 6,10	4,70 - 4,90	1,80
	2 X 3	7,15 - 7,30	4,70 - 4,90	1,80
	2 X 4	8,30 - 8,50	4,70 - 4,90	1,80
	2 X 5	9,45 - 9,70	4,70 - 5,35	1,80 - 2,25
	2 X 6	10,60 - 10,90	5,15 - 5,35	2,25
	2 X 8	12,90 - 13,30	5,40 - 5,60	2,50
	2 X 10	15,20 - 15,70	5,40 - 5,60	2,50
Side by Side	2 X 4	4,95 - 5,15	6,40 - 6,45	1,80
	2 X 5	5,60 - 5,85	6,85 - 6,90	2,25
	2 X 6	6,25 - 6,55	6,85 - 6,90	2,25

Tab. A1.06: Melkstandplätze für verschiedene Melkstandsysteme mit der in Klammern gesetzten Anzahl an Melkpersonal (BFL, Melktechnik)

Melkstandsystem	D - 6	D - 8	D - 10	D - 12	D - 16	D - 20
Side-by-Side	60 (1)	73 (1)	94 (1)			
Side-by-Side (Frontaustrieb)	70 (1)	85 (1)	98 (1)			
Vario Tandem automatisch	100 (2)					
FGM mit Einzelmelkzeugen	59 (1)	72 (1)	90 (1)	105 (2)		
FGM mit Euroindexing	60 (1)	75 (1)	94 (1)	106 (2)		
FGM mit rotierender Frontabgrenzung	73 (1)	88 (1)	100 (1)	115 (2)	150 (2)	170 (2)
FGM Profi mit All Exit	75 (1)	90 (1)	105 (1)	120 (2)	155 (2)	175 (2)
Parallel-Melkstand	78 (1)	95 (1)	112 (1)	118 (1)	160 (2)	195 (2)
Tumstyles-Rotolaktor			118 (1)	140 (1)	197 (2)	250 (2)

Einflussfaktoren auf den Arbeitszeitbedarf beim Melken in Melkständen sind: 1) die Kühe, 2) der Mensch und 3) Bau und Technik, die sich vielfach gegenseitig beeinflussen. Bei Bau und Technik sind diese Faktoren wichtig: a) Stallform, b) Stalleinrichtung, c) Melkstandform, e) Melkstandgröße und f) Melkstandausstattung (BFL, Melktechnik). Die Melkstandformen sind:

A. Tandem-Melkstand: Ein optimale Einzeltierbetreuung und hoher Durchsatz pro Melkzeug sind bezeichnend für den Autotandem-Melkstand. Jede Kuh wird in einem eigenen Stand fixiert und unabhängig von anderen gemolken. Die Tiere stehen hintereinander und können durch einen neben den Melkplätzen angeordneten Gang laufen. Das System ist relativ flexibel in der Grundrissgestaltung. Es können zwei oder drei Stände einseitige oder beidseitig von einem länglichen Melkflur angeordnet werden. Das Haupteinsatzgebiet findet sich in mittleren Familienbetrieben; ein Einsatz bei größeren Herden ist durch die längeren Arbeitswege für den Melker nur bedingt zu empfehlen (Abb. A1.09 - A).

B. Fischgräten-Melkstand: Der Fischgrätenmelkstand ist der klassische Gruppenmelkstand. Die Kühe stehen schräg nebeneinander zur Längsachse des Stands. Der Aufstellungswinkel der Kühe zur Flurrichtung beträgt zwischen 30 - 40°. Die Arbeitswege von Euter zur Euter verkürzen sich und der Abstand der Melkzeuge ist variabel und liegt im flacheren Winkel zur Melkergrube. Die Einsatzgrößen reichen von 1x3 bis über Doppel-12 für Herden von 10 bis 300 Kühen. Es ist die am stärksten verbreitete Melkstandform in Europa (Abb. A1.09 - B).

C. Side-by-Side-Melkstand: Die Tiere stehen hier im rechten Winkel zum Melker und werden zwischen den Hinterbeinen hindurch gemolken. Der Gefahr einer stärkeren Verschmutzung des Melkflurs, der Geräte und des Melkers kann durch die Tiere begegnet werden. Die Anordnung eines Fußbades vor dem Eintrieb verringert die Verschmutzungsgefahr. Die Kuhgruppe wird entweder seitlich ausgetrieben oder frontseitig. Dieser Melkstandtyp benötigt im Vergleich zum Fischgrätenstand eine größere Raumbreite, ist aber deutlich kürzer. Die Arbeitswege für den Melker und die Ein- und Austriebswege für die Kühe werden verkürzt. Der Zugang zum Euter ist aber ungünstiger (Abb. A1.09 - C).

D. Trigon-Melkstand: Diese Form ist ein dreiseitiger Melkstand mit einer dem Fischgrätenmelkstand identischen Schrägstellung der Kühe. Bei einer größeren Anzahl von Melkzeugen kann damit die Gruppengröße verringert und der Durchsatz erhöht werden. Hervorzuheben ist

die gute Übersichtlichkeit in diesem Melkstandtyp (Abb. A1.09 - D).

E. Polygon-Melkstand: Zur Reduzierung der Gruppengröße bei gleicher Melkzeuganzahl ist durch den Polygon-Melkstand und ein Vier-Seiten-Melkstand gegeben. Ein zusätzlicher Raumbedarf entsteht jedoch durch die sich kreuzenden Zu- und Abtriebswege (Abb. A1.09 - E).

F. Rotary-Melkstand: Höchste Stundenleistung pro Personaleinheit durch fließbandähnlichen Arbeitsablauf kennzeichnen den Rotary-Melkstand, in dem die Kühe einzeln die rotierende Melkplattform betreten und wieder verlassen (Abb. A1.09 - F).

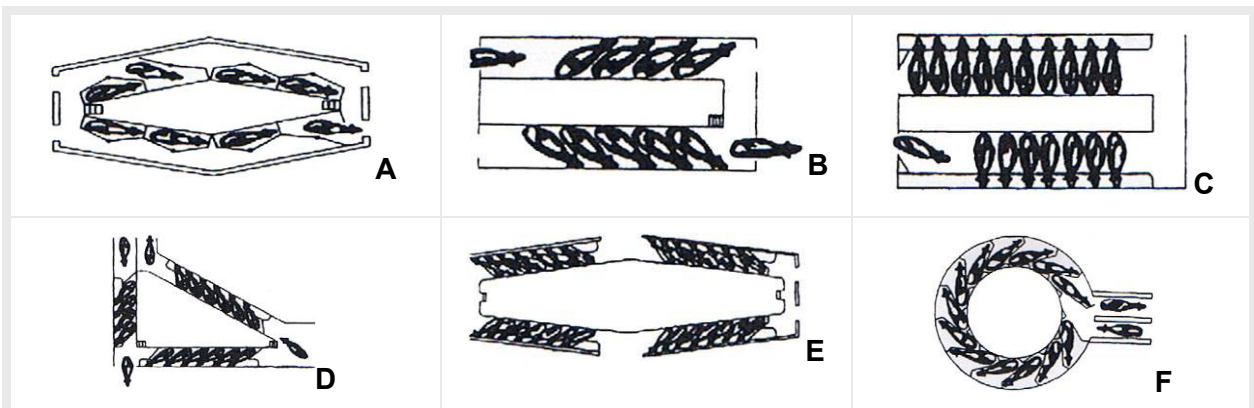


Abb. A1.09: Melkstandsysteme

A1.2.5 Funktion: Entmistung

In der landwirtschaftlichen Tierhaltung fallen Harn und Kot an, die in Form von Jauche, Festmist und Gülle erfasst und gelagert sowie später als Dünger ausgebracht werden (Tab.10.07). Daneben ergibt sich bei der Silagebereitung Sickersaft, der ebenfalls zu erfassen ist und der landwirtschaftlichen Nutzfläche zugeführt wird. Schließlich entsteht bei der Bewirtschaftung von Melkanlagen durch Niederschläge auf die dichten Flächen vor Dunglagern und Silos oder auf befestigten Auslauflächen Abwasser, welches separat erfasst werden sollte (RICHTER et al., 1992).

Entmistungsverfahren hängen in den Laufställen direkt von den Haltungssystemen der Kühe ab. In der Rinderhaltung gibt es normalerweise zwei Hauptentmistungsverfahren, die von der Tierhaltung mit oder ohne Einstreu abhängig sind (Abb. A1.10).

Tab. A1.07: Täglicher Frischmist- und Jaucheanfall und Orientierungswerte für den Bedarf an Dunglagerfläche (m^2/Tier) für den Anfall von 90 Tagen bei unterschiedlicher Stapelhöhe (Richter et al., 1992)

Haltungsform / Produktionsstufe	Frischmist und Jauche			Bedarf an Dunglagerfläche			
	[kg/Tag/Tier]			[m^2/Tier]			
	Einstreu	Frischmist	Jauche	2,0 m	2,5 m	3 m	4 m
Milchkühe, Anbindehaltung	3,0	36,0	20,0	2,00	1,60	1,35	1,00
Milchkühe, Laufstall	3,0	39,0	20,0	2,20	1,75	1,45	1,10
Jungrinder	2,0	17,0	11,0	0,95	0,75	0,65	0,50
Mastbullen	2,0	17,0	12,0	0,95	0,75	0,65	0,50
Kälber	1,0	5,3	7,5	0,30	0,25	0,20	0,15

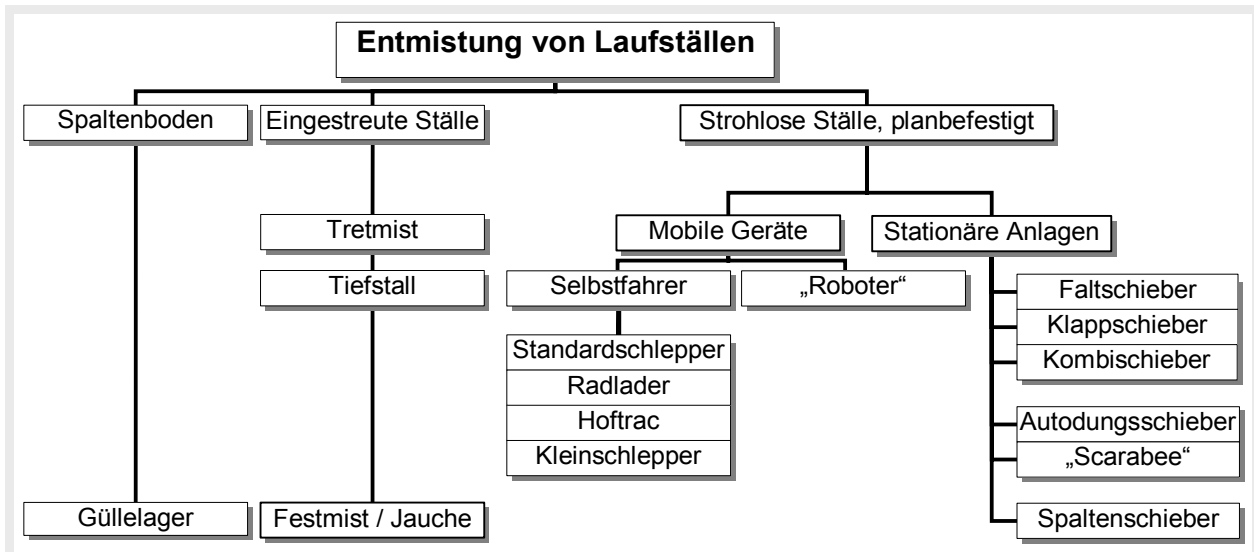


Abb. A1.10: Übersichtsskizze der Entmistungsmöglichkeiten (Ldw. Kammer Rheinland-Pfalz, 2006)

A1.2.5.1 Festmistverfahren

Die Verwendung von Einstreu führt zum sog. Festmistsystem, das an mechanische Geräte zur Handhabung des Gemisches aus Einstreu und Kot gebunden ist, beim Harn jedoch als pumpfähige Flüssigkeit anfällt, die gesondert bearbeitet wird. Der Festmist kann durch zwei Systeme entmistet werden.

a. Schieberanlagen: Als Flachschieberanlagen werden Fall- oder Klappschieber bezeichnet, die den Laufbereich von Boxenlaufställen entmisten. Bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 3-5 m/min haben die Kühe keine Probleme, über den Schieber hinwegzusteigen. Als Material für die Schieber wird verzinkter Baustahl oder sogar Edelstahl verwendet; eine Bestückung der Räumkante mit höhenverstellbaren Hartgummi- oder Kunststoffleisten verbessert den Verschleiß und die Räumarbeit. Die Schieber selbst sollten nach oben hin abgerundet sein und keine Kanten oder Grate aufweisen, um die Tiere nicht zu verletzen oder zu behindern. Als Antriebsaggregate werden ausschließlich Elektromotoren mit Getriebe und Winde eingesetzt. Je nach Ganglänge und Hersteller werden ein oder zwei Antriebe benötigt. Die Steuerung erfolgt per Hand oder über eine Zeitschaltuhr, wobei erkrankten Tieren oder Kälbergeburten besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Zum Ziehen der Flachschieber werden sowohl Ketten als auch Stahlseile eingesetzt. Hier wird durchweg Edelstahl bzw. kunststoffummantelter Stahl verwandt (Ldw. Kammer Rheinland-Pfalz, 2006). Einige Bauarten von Schieberanlagen werden in den Abbildungen A1.11 und A1.12 dargestellt.

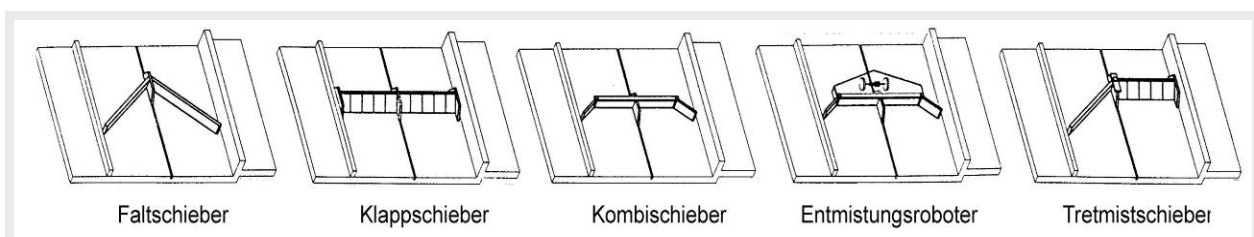


Abb. A1.11: Verschiede Varianten der Schieberentmistungsanlagen (Ldw. Rheinland-Pfalz, 2006)



Abb. A1.12: Beispiel für Kombischieber (l) und Faltschieber (r)

b. Mobile Entmistungsgeräte: Die mobilen Geräte sind gekennzeichnet durch ihre Vielseitigkeit und gute Anpassungsfähigkeit an verschiedene Stallmaße. Sie binden allerdings eine Bedienungsperson und verursachen durch Lärm und Abgase sowie geöffnete Tore Unruhe im Tierbereich. Auch müssen ausreichende Durchfahrhöhen und Wendemöglichkeiten vorhanden sein. Zum Entmisten von Laufhöfen sind die Geräte: Standardschlepper, Radlader und Hof-trac / Kleinschlepper gut geeignet (Ldw. Kammer Rheinland-Pfalz, 2006).

Vorteile von planbefestigten Laufflächen sind: geringere Investitionskosten, da keine Unterkellerung des Stalles notwendig ist, eine ebene und ganzflächige Auftrittsfläche für die Tiere verringert die Druckbelastung der Klauen und fördert somit deren Gesundheit und die Gefahr der Bildung lebensbedrohlicher Schadgase (Aufrühren) ist weniger groß als bei Spaltenböden.

Nachteile planbefestigter Laufflächen sind: Entmistungsanlagen können zur Abnutzung des Bodens führen und die Rutschfestigkeit der Lauffläche beeinträchtigen und bei zu geringer Entmistungshäufigkeit sind die Böden oftmals zu feucht (GÖT, 2003). Negativ ins Gewicht fällt die höhere Arbeitsbelastung, die durch Bedienung, Wartung oder Störfälle bei der Technik anfällt, während der Spaltenboden ohne zusätzlichen Arbeitsaufwand auskommt.

A1.2.5.2 Flüssigmistverfahren

Einstreulose Rinderhaltung führt zur Flüssigmistbereitung, bei der Kot und Harn gemeinsam behandelt werden. Bei dieser Haltung endet der Standplatz in einem Rost. Darunter werden in einem Kanal Kot und Harn fließend aus dem Stall entfernt. Hierfür sind vier verschiedene Systeme üblich, die in der Abb. A1.13 dargestellt werden.

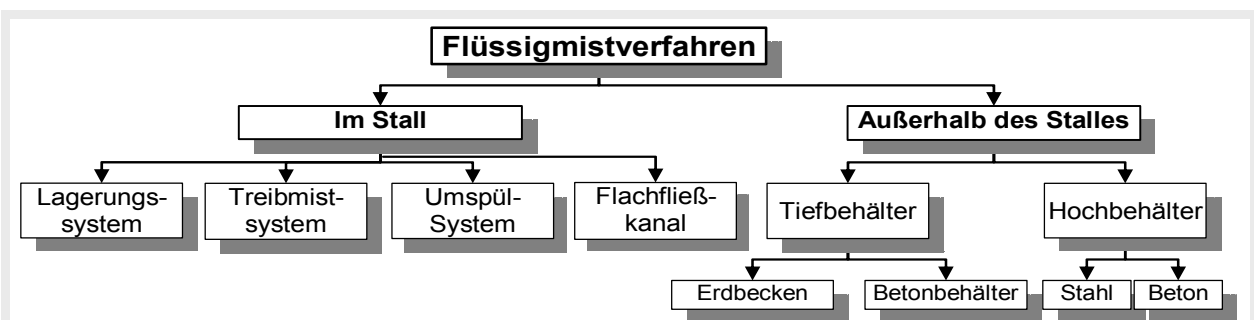


Abb. A1.13: Verfahren der Flüssigmistlagerung (SENS, 1998)

a. Güllekeller (Lagerungssystem): Der Güllekeller wird unter dem Stall gelagert. Spezialformen des Güllekellers sind das Zirkulationssystem und das Slalomsystem (Abb. A1.14 - A).

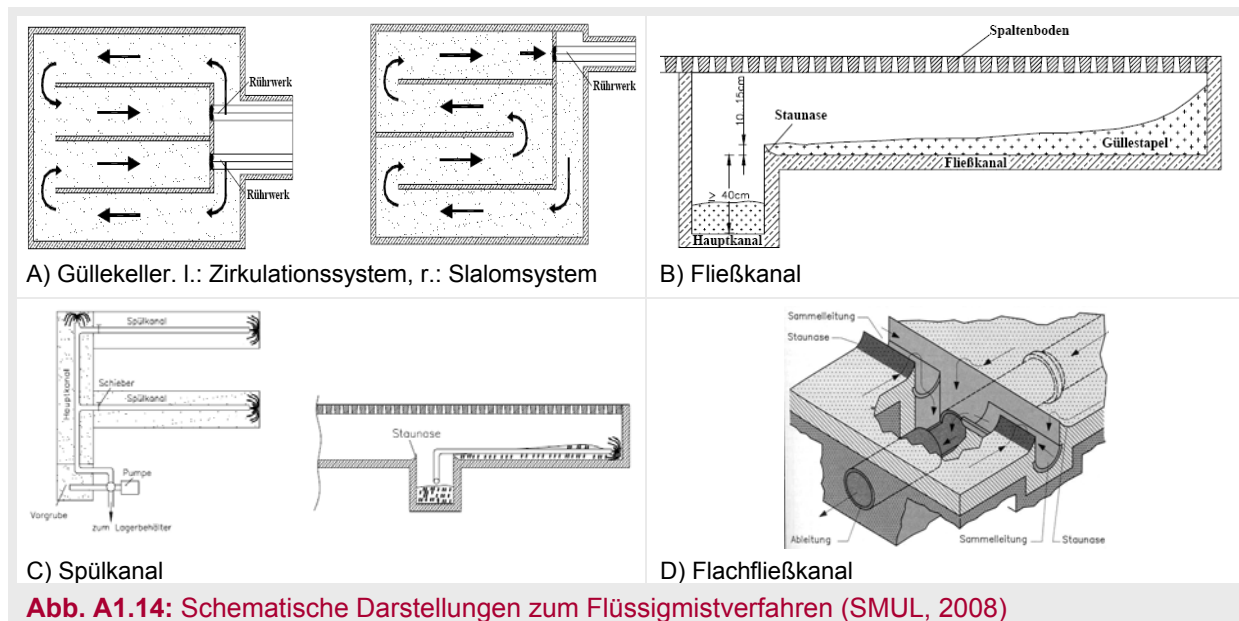
Das Zirkulationssystem ermöglicht bei Kanaltiefen von ca. 1,5 bis 2,0 m eine kostengünstige Lagerung bis zu 6 Monaten (BFL, 1985). Beim Slalomsystem wird die Gülle unter dem Spaltenboden täglich bis zweitäglich aufgerührt. Durch die kürzere Kanallänge beim Zirkulationssystem ist ein Aufrühren nur etwa jeden Monat notwendig (SMUL, 2008).

b. Fließkanal (Treibmistkanal): Das Treibmistverfahren arbeitet ohne jeden Wasserzusatz. Die Gülle fließt langsam Richtung Hauptkanal. Die Kanäle werden mit rechteckigem Querschnitt ohne Gefälle gebaut. Am Ende des Kanals sitzt eine Staunase. Sie verhindert das Abfließen einer als Gleitschicht eingebrachten Flüssigkeitsmenge am Grund des Kanals (KRÄUSSLICH, 1981). Die notwendige Tiefe des Fließkanals ist abhängig von seiner Länge sowie der Fließfähigkeit der Gülle. Der Kanal darf kein Gefälle aufweisen, da es sonst zu Entmischungserscheinungen und damit zur Funktionsuntüchtigkeit kommt. Das Niveau des Hauptkanals sollte mindestens 40 cm tiefer liegen als das des Fließkanals. je m Kanallänge kann mit einer notwendigen Kanaltiefe von 2,5 cm (Liegeboxenlaufstall für Milchkühe ohne Einstreu) bis 3,0 cm (Liegeboxenlaufstall für Milchkühe mit Einstreu) gerechnet werden. Hinzuzuziehen sind die Höhe der Staunase (ca. 15 cm) und ein Sicherheitszuschlag unter dem Spaltenboden von ebenfalls mindestens 15 cm (Abb. A1.14 - B) (SMUL, 2008).

c. Flachkanal (Spülkanal): Die lichte Tiefe von Spülkanälen beträgt nur 50 - 60 cm (Oberkante Kanalboden - Unterkante Spaltenboden) (Abb. A1.14 - C). Stirnseitig sind die Spülkanäle mit je einer Spüldüse ausgerüstet. Bei Kanalbreiten ab 2 m sollten die Düsen schwenkbar ausgelegt werden, um die gesamte Kanalbreite spülen zu können. Zur Vermeidung von Sedimentationen werden Spülkanäle wie auch Fließkanäle mit Staunasen ausgestattet. Die Spülung der Kanäle erfolgt wöchentlich mit Gülle aus der Vorgrube. Aufgrund der geringen Kanaltiefe sollten auch die Sammel- und Hauptkanäle mit Spülung versehen werden. Auch eine Kombination des Spülkanals mit Fließkanal oder Schieberentmistung ist möglich.

d. Flachfließkanal (System Weihenstephan): Dieses System beruht auf der Kombination kurzer, flacher Fließkanäle mit mehreren Sammelkanälen in Form von Rohren. Die Fließkanäle haben eine lichte Tiefe von 50 cm. In Abständen von max. 20 m (zum Kanalende von 10 m) sind quer verlaufende Rohr-Sammelkanäle angeordnet, die schließlich in ein Hauptrohr münden. Die Sammelrohre sowie das Hauptrohr haben einen Durchmesser von ≥ 40 cm (Abb. A1.14 - D). Während die Flachkanäle ohne Gefälle ausgebildet werden, sind die Sammelleitungen und die Hauptleitung mit einem Gefälle von 1 % zu verlegen. Um Verstopfungen des Rohrsystems zu vermeiden, sollte dieses System ausschließlich in Kombination mit einstreulosen oder nur leicht eingestreuten Liegeboxen Anwendung finden (LANGENEGGER, 1996).

Flüssigmistbereitung ist üblich in Laufställen. Hier befinden sich die Kanäle unter dem Laufbereich und sind mit Spaltenböden abgedeckt. Bei der Verlegung von Spaltenböden sind Balken mit ebenen Auftrittflächen zu bevorzugen, außerdem muss die Oberkante aller Balken auf gleicher Höhe liegen. Es dürfen keine Stolperkanten vorhanden sein. Die Balken selbst sind trapezförmig mit leicht abgerundeten Kanten (KRÄUSSLICH, 1981) (Abb. A1.15).



A1.3 Abmessungen an Aufstallungssystemen nach verschiedene Literaturen

Tab. A1.08: Funktionsmaße von Milchkühen (Wissenzentrum, Aulendorf, 2008)

Kriterium		Besonders tiergerechte Haltung und weitere Empfehlungen	Empfehlung für behornte Kühe
Platzangebot: Stall Laufhof	[m ²]	5,0 je GV *)	9 je GV u. 12 je Tier
Liegeboxenbreite	[cm]	125 bis 130	120
Liegeboxenlänge	[cm]	240 - 250 / 270 - 280	270 / 300
Liegelänge	[cm]	180 bis 190	
Bodenfreiheit Trennbügel	[cm]	60	
Fressplatzbreite	[cm]	75	80 bis 90
Fressgangbreite	[cm]	> 350	450
Laufgangbreite	[cm]	> 250	400
Tier-Fressplatz-Verhältnis		1:1 (1,2:1)	1:1,1 bis 1,2
Tier-Liegeplatz-Verhältnis		1:1	1:1,1 bis 1,2
Lichteinfallfläche der Stallgrundfläche	[%]	5	
Liegefläche bei Tieflaufstall	[m ² /Kuh]	4,5	8
Liegeflächentiefe Tieflaufstall	[m]		Max. 6
Max. Spaltenbreite	[cm]		3

*) Nach EU-Öko-Verordnung Nr. 1804/1999 ist 6,0 je Tier Platzangebot im Stall und 4,5 je Tier im Laufhof

Tab. A1.09: Abmessungen von Laufstallsystem für Kühe (FAT, 2005)

Tierkategorie		Kälber			Mastvieh und Jungvieh				Kühe		
Alter	[M]	< 2 W	< 3 W	<4	<6	<9/15	<12/20	<12/20			
Gewicht	[kg]			150	200	200-300	300-400	>400			
Widerristhöhe	[cm]								120 - 130	130 - 140	140 - 150
Boxen Breite	[cm]	85									
Boxen Länge	[cm]	130									
Fressplatz											
Breite	[cm]			40	45	50	60	70	65	72	78
Tief inkl. Laufgang	[cm]			160	160	260	260	280	290	320	330
Laufgang											
Hinter Boxenreihe	[cm]			120	120	160	160	175	220	240	260
Quergänge											
für 1 Tiere	[cm]									80-120	
für 2 Tiere	[cm]									≥180	
Liegeboxen											
Breite	[cm]			60	70	80	90	100	110	120	125
Länge wandständig	[cm]			150	160	190	210	240	230	240	260
Gegenständig	[cm]			140	150	180	200	220	200	220	235
eingestreute Liegefläche	[m ²]		1,0	1,2 -1,5	1,8	2,0	2,5	3,5	4,0	4,5	5,0
Spezielle Flächen											
Abkalbebuch	[m ²]								10	10	10
Warteplatz	[m ²]								1,6	1,8	20
max. Spaltenboden	[mm]			30	30	35	35	35		35	
Max. Lochgrösse	[mm]			30	30	55	55	55		55	
Laufhof											
Gesamtfläche	[m ²]			3,5	4,5	4,5	5,5	6,5		10	
Davon nicht überdacht	[m ²]			1,0	1,3	1,3	1,5	1,8		2,5	

Tab. A1.10: Stallmaße nach den Anforderungen für die Haltung von Nutztieren im Biolandbau (FÜR-SCHUSS et al., 2004)

Widerristhöhe	[cm]	120 - 130	130 - 140	140 - 150
Fressplatzbreite	[cm/Tier]	65	72	80
Fressplatztiefe	[cm]	290	320	330
Laufgangbreite, minimal	[cm]	220	240	260
Liegefläche, eingestreut	[m ² /Tier]	1)	4,5	1)
Liegeboxenbreite	[cm]	110	120	125
Liegeboxenlänge, wandständig	[cm]	230	250	260
Spezielle Boxenmaße wandständig	[cm]	55 / 165 / 10	55 / 185 / 10	60 / 190 / 10
Liegeboxenlänge, gegenständig	[cm]	200	220	235
Spezielle Boxenmaße gegenständig	[cm]	25 / 165 / 10	25 / 185 / 10	35 / 190 / 10
zugänglichem Laufhof	[m ² /Tier]		10	

Tab. A1.11: Die Planungsgrundlagen müssen mindestens den Vorgaben der Biorichtlinien entsprechen (VO-EG 1804-1999)

Bereich	Stall [m ²]	Auslauf [m ²]	Bereich	Achsmaße [m]
mind. pro 100 kg LG	1	0,75	Fressplatzbreite (hornlos)	0,75
bis 100 kg LG	1,5	1,1	Fressplatzbreite (behornt)	0,80
bis 200 kg LG	2,5	1,9	Breite Liegebox (starre Boxentrennung)	1,2 - 1,25
bis 350 kg LG	4	3	Breite Liegebox (flexible Boxentrennung)	1,15 - 1,20
über 350 kg LG	5	3,7	Länge Liegeboxen wandständig	2,70
Milchkühe	6	4,5	Länge Liegeboxen gegenständig	2,50

Tab. A1.12: Empfehlungen zu den Stallabmessungen (FÜRSCHUSS et al., 2004)

Milchvieh (Widerristhöhe 135 ± 5 cm bzw. 650 kg LG), lichte Weiten		
Fressplatzbreite	[m]	0,8 – 0,9
Liegefläche, eingestreut ohne Boxen	[m ² /Tier]	7,0
Liegeboxen-Gesamtlänge	[m]	2,85
Liegelänge	[m]	1,85
Liegeboxenbreite	[m]	0,9 x Widerristhöhe von 25 % der größten Tiere einer Herde
Kopfraum, wandständig (Kopf zur Wand)	[m]	0,8 – 1,0
Kopfraum, gegenständig (Kopf zu Kopf)	[m]	0,8 – 1,0
Bugschwelle (Höhe)	[cm]	15 – 20
Streuschwelle (Höhe)	[cm]	20 – 25
Vertikaler Abstand, bewegl. Nackenriegel – Oberkante Liegefläche	[m]	mind. 1,20
Diagonaler Abstand, bewegl. Nackenriegel – Streuschwelle	[m]	2,0
Laufgänge im Fressbereich einschließlich Fressplatztiefe	[m]	4,0
Laufgänge im Fressbereich einschließlich Fressplatztiefe bei angrenzenden Liegeboxen	[m]	4,3
Laufgänge zwischen Liegeboxenreihen	[m]	4,0
Laufgänge mit einseitiger Liegeboxenreihe	[m]	3,0
Einbahnwege	[m]	1,0
Laufhofbreite einschließlich Fressplatztiefe	[m]	6,0
Laufhoffläche, optional/funktional	[m ² /Tier]	12,0 / 15,0

Tab. A1.13: Mindeststall- und -freiflächen und andere Merkmale der Unterbringung (BARTUSSEK, 2000)

	Stallfläche (den Tieren zur Verfügung stehende Nettofläche)		Außenfläche (Freigelandeflächen außer Weideflächen)
	Lebendgewicht [kg]	Mindestfläche [m ² /Tier]	[m ² /Tier]
Zucht- und Mastrinder und Equipen	bis 100	1,5	1,1
	bis 200	2,5	1,9
	bis 350	4,0	3,0
	über 350	5,0 mindestens 1 m ² /100 kg	3,7 mindestens 0,75 m ² /100 kg
Milchkühe		6,0	4,5
Zuchtbullen		10,0	30,0

Tab. A1.14: Mindestbedingungen für die Gruppenhaltung ohne Liegeboxen gemäß Steiermärkischer Nutztierhaltungsverordnung 1996 (Umsetzung der TSV 1995 (In: BARTUSSEK, 1996))

Jung- und Mastvieh	Buchten mit Vollspalten- boden	Einflä- chen- buchten	Mehrflächenbuchten ohne Boxen		Barn- bzw. Fressplatzlänge (-tiefe)
			Liegefläche	Lauf-, Mist- oder Fressgangbreite	
	[m ² /Tier]	[m ² /Tier]	[m ² /Tier]	[m]	[m/Tier]
bis 350 kg	2,2	3,0	1,8	1,8	0,54
bis 500 kg	2,5	5,0	2,2	2,0	0,60
über 500 kg	2,7	5,0	2,5	2,0	0,70
Milchkühe		5,0	3,0	2,2	0,75

A1.4 Stallklima

Der Stall ist für das Rind auf kürzere oder längere Zeit die unmittelbare Umwelt. Im Stall wirkt das sogenannte Klein- oder Mikroklima. Der Begriff „Stallklima“ umfasst vor allem den Tierbereich und wird von einigen Faktoren beeinträchtigt. Diese klimatischen Faktoren beeinflussen das Wohlbefinden, die Leistung, die Gesundheit und die physiologischen Vorgänge im Tierkörper sowie die Arbeitsbedingungen der Menschen. Bei ungünstigen Bedingungen sind diese Faktoren Wegbereiter für Krankheiten, besonders der Atemwege. Hohe Fremd- und Schadgasgehalte schwächen das Immunsystem und lassen Infektionskrankheiten leichter angehen und schwerwiegender verlaufen (BARTUSSEK, 2008; AEL, 2007).

Die beeinflussenden Faktoren auf Stallklima und Tierhygiene können in drei Bereichen zusammengefasst werden: Physikalische Faktoren, chemische Faktoren und biologische Faktoren. Die Optimal- und Grenzwerte bezüglich Temperatur, relativer Feuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit haben keine absolute Gültigkeit, sondern hängen vom jeweiligen Haltungssystem ab (VAN CAENEDEM, 2000).

A1.4.1 Begriffe und Stallklimadaten

Im Folgenden werden die Begriffe für Stallklima und Stalllüftung erläutert (AEL, 2007):

- Wärme: Wärme tritt in zwei Formen auf:
 - *sensible Wärme*: „fühlbare“ Wärme (mit dem Thermometer messbar),
 - *latente Wärme*: bei der Verdampfung von Flüssigkeiten gebundene Wärme, die bei der Kondensation der Flüssigkeiten wieder in sensible Wärme umgewandelt wird.
- Wärmebilanz: Wärmebilanz ist die Gegenüberstellung von in den Stall zugeführten, im Stall anfallenden und aus dem Stall fortgeführten Strömen sensibler Wärme.
- Wasserdampfbilanz: Wasserdampfbilanz ist die Bilanz aus den dem Stall zugeführten, im Stall anfallenden und aus dem Stall fortgeführten Massenströmen des Wasserdampfes.
- Kohlendioxidbilanz: Kohlendioxidbilanz ist die Bilanz aus den dem Stall zugeführten, im Stall anfallenden und aus dem Stall fortgeführten Massenströmen des Kohlendioxids (CO₂).
- Zuluft: Luft, die dem Stall aus dem Freien oder aus Nebenräumen zugeführt wird.
- Abluft: Abluft ist die Luft, die aus dem Raum geführt wird. Sie ist meistens identisch mit Fortluft.
- Fortluft: Fortluft ist die Abluft, die ins Freie abströmt.
- Umluft: Teil der Abluft, die dem Stall wieder zugeführt wird.
- Freie Lüftung: Lüftung durch Wärmeauftrieb und Wind.
- Zwangslüftung: Lüftung mit Hilfe von Ventilatoren.
- Lüftungswärmestrom: Lüftungswärmestrom ist der Wärmebedarf, der zum Ausgleich von Lüftungswärmeverlusten benötigt wird.
- Luftmassenstrom im Stall: Luftmassenstrom ist die Luftmasse in kg, die in einer Stunde zwischen dem Stall und seiner Umgebung ausgetauscht wird; siehe Zuluft, Abluft, Fortluft.
- Luftvolumenstrom: Luftvolumenstrom ist die Luftmenge pro Zeiteinheit. Er errechnet sich aus dem Luftmassenstrom unter Berücksichtigung der Luftdichte.
- Luftwechselzahl: Luftwechselzahl ist der Luftvolumenstrom bezogen auf das Raumvolumen.
- Luftrate: Luftmenge einer GV in einer Stunde.

Einige Hauptdaten des Stallklimas für verschiedene Tierarten werden in der Tabelle A1.15 zusammengefasst.

Abb. A1.15: Stallklimadaten für verschiedene Tierarten (FAL - BB, 1969)

		Milchvieh	Mastschwei- ne	Hühner	
				Bodenhaltung	Batteriehal- tung
In dem Musterstall ergeben sich folgende Werte:					
Stallraumvolumen	[m ³ /GV]	21	30	100	50
Fußboden	[m ² /GV]	7,0	10,0	35,2	16,5
Wände + Decke	[m ² /GV]	12,9	18,3	64,5	30,3
Wärme-, Wasserdampf- und CO ₂ - Produktion:					
Wärme	[kcal/h.GV]	750	1200	3000	
Wasserdampf	[g/h.GV]	300	400	1600	
CO ₂	[m ³ /h.GV]	0,16	0,17	0,36	
Mittlere Wärmedurchgangszahl (U) der Wand- und Deckenflächen:					
Wärmedurchgangszahl (U) [kcal/m ² .h.grad]		0,6 - 0,85	0,6 - 1,15	0,5 - 0,7	
Regelbereich für den Luftdurchsatz:					
Sommerlüftung (V _{L max})	[m ³ /GV.h]	ca. 240	ca. 375	ca. 2000	
Winterlüftung (V _{L min})	[m ³ /GV.h]	Ca. 50	ca. 50	ca. 110	
Sommerlüftung / Winterlüftung		Ca. 1:5	ca. 1:7,5	ca. 1:18	
Luftdurchsatz und Luftwechsel im Musterstall:					
Sommerlüftung					
Luftdurchsatz	[m ³ /h]	7180	8450	13000	27200
Luftwechsel (n)	[1/h]	10,6	12,5	19,3	40,3
Winterlüftung					
Luftdurchsatz	[m ³ /h]	1600	1125	715	1500
Luftwechsel (n)	[1/h]	2,4	1,7	1,1	2,2

A1.4.2 Erforderliche Angaben für Stallklimaberechnungen

Für die Ermittlung der Klimadaten und Stalllüftung werden folgenden Angaben benötigt:

- Nutzungsart des Stalles, Anzahl der Tiere, die Tiermasse, die Stoffwechselleistung der Tiere, und zu erwartender Viehbesatz,
- Standort des Stalles, Orientierung zu Himmelsrichtungen, Lage und Art benachbarter Gebäude und Bepflanzung sowie öffentliche Straßen,
- örtliches Klima (Temperaturen, rel. Luftfeuchte, Windstärke, Hauptwindrichtung, Jahreszeit),
- Bauart des Stalles, Konstruktion der raumumschließenden Bauteile, Fenster, Türen usw., mit Eigenschaften der Baustoffe, ihre Rohgewichte und Schichtdicken,
- vorhandene Lüftungseinrichtungen, Luftqualität; Anordnung und Abmessungen von Luftführungs Kanälen, Luftein- und austrittsöffnungen, technische Daten der Ventilatoren usw.
- Entmistungssystem,
- Abmessungen der Gebäudebreite und genaue Grundriss- und Schnittzeichnungen der Gebäude

A1.4.3 Beeinflussende Faktoren auf das Stallklima

A1.4.3.1 Physikalische Faktoren

a. Temperatur

Unter den verschiedenen Klimafaktoren hat die Lufttemperatur einen bedeutsamen Einfluss auf die physiologischen Vorgänge und damit auf die Leistung des Rindes. Das Rind als homoiothermes (gleichmäßige Wärme) Lebewesen (Warmblüter), muss unter verschiedenen Außentemperaturen seine Körpertemperatur weitgehend konstant halten, wenn die Lebensfunktionen normal ablaufen sollen. Zu diesem Zwecke erzeugt der Tierkörper aus der aufgenommenen Nahrung aus der Körpersubstanz für alle Lebensvorgänge Wärme (KECK und ZÄHNER, 2004).

Niedrige Temperaturen sind für gesunde Tiere kein Thema. Die Rinder fühlen sich innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches am wohlsten, da in diesem Bereich die tierischen Leistungen optimal sind. Dieser Bereich wird als „Behaglichkeitsbereich“ bezeichnet. Nach der Thermoregulationszone der Rinder soll die optimale Lufttemperatur im Tierbereich innerhalb der thermoneutralen Zone liegen. Für jedes Tier gibt es eine thermische Neutralitätszone der Umgebungstemperatur, innerhalb welcher der Organismus seine Körpertemperatur mit minimalen regulatorischen Maßnahmen aufrechterhalten kann (Abb. A1.17, Zone von B nach B') (BVET, 2002). Sobald die Temperatur die untere oder obere Grenze dieses Bereiches erreicht, steigt die Wärmebildung allgemein an. Danach ist verständlich, dass eine Überschreitung des Behaglichkeitsbereiches geringere Leistungen mit sich bringt (MEHLER und HEINEG 1968).

Die optimale Temperatur für die Milchkühe ist variabel und hängt von Tierart-, alter und Leistung ab. Sie wurde nach verschiedener Literatur angegeben. Nach RICHTER et al. (1992) und BIANKA (1971) wurde der optimale Bereich zwischen 0 - 20 °C und der produktiver Bereich zwischen 0-28 °C angegeben (Tab. A1.16). Nach der GÖT (2003) „*Gesellschaft für Ökologische Tierhaltung*“ heißt es, dass die optimale Temperatur für Rinder zwischen 2 - 21 °C liegt und die Futteraufnahme ist reduziert, wenn die Umgebungstemperatur mehr als 25 °C erreicht. GROTE et al., 2006 haben festgestellt, dass die optimale Temperatur zwischen 0 und 15 °C ist (Tab. A1.17). Nach KRAMER et al. (1999) und BRUCE (1986) liegt die thermoneutrale Zone im Bereich zwischen 4 und 15°C mit Schwankungsbreiten von -15 bis 5°C und 20 bis 23°C.

Rinder sind temperaturtolerant. Sie vertragen die niedrigeren Temperaturen relativ besser als die hohen, weil durch den intensiven Stoffwechsel der Hochleistungskühe nebenbei viel Abfallwärme vom Körper erzeugt wird (SAMBRAUS et al., 2002).

Tab. A1.16: Optimaler und produktiver Bereich der Lufttemperatur bei Rindern (RICHTER et al., 1992)

Produktionabschnitt bzw. Stall	Mittlere Lebendmasse	Lufttemperatur	
		Produktiver Bereich	Optimaler Bereich
	[kg/Tier]	[°C]	[°C]
Kalb bis 3 Wochen	35 - 60	12 - 28	15 - 20
Kalb 3 Wochen bis 5 Monate	60 - 170	8 - 25	10 - 20
Jung- und Mastrind, Milchkuh	170 - 700	0 - 28	0 - 20

Tab. A1.17: Optimale Temperatur der Stallluft in [°C] (GROTE et al., 2006)

Kälber bis zum 10. Lebenstag	Liegebereich: min. 10 max. 25	Kälber bis 60 kg	16 - 20	Kälber 50-150 kg	5 - 20
Kälber ab 10. Lebenstag	Liegebereich: min. 5 max. 25	Mastkälber, Zuchtkälber bis 150 kg	10 - 20	Jungvieh 150-500 kg	5 - 20
Vorgaben gelten nicht für Kaltställe oder Kälberhütten, die vorwiegend als Witterungsschutz dienen		Kühe einschließlich Kälber, Jungvieh, Zuchtbullen, Masttiere bis 800 kg	0 - 20	Masttiere 150-500 kg Milchkühe (10-20 kg Milch/Tag) Zuchttiere um 1000 kg	0 - 15
TierSchNutzV (2001)		DIN 18910-1		BVET Bern	

b. Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit ist ein Umweltfaktor in der Tierhaltung, dessen Bedeutung für die Tiergesundheit, das Wohlbefinden und die Leistung der Tiere sehr groß ist. Jede Kuh gibt pro Stunde bis zu 400 Gramm Wasserdampf ab, je nach Körpergewicht und Leistung. Das heißt also, die Stalllüftung muss täglich bis zu neun Liter Wasserdampf je Kuh zuführen. Die Feuchtigkeit und der Wasserdampfgehalt der Stallluft bilden und erhöhen sich durch die Ausatmung, durch Schwitzen und durch Verdunstung von Wasser aus Futter, Kot und Harn. Hohe Luftfeuchtigkeiten mindern die Isolationsfähigkeit des Felles.

Die optimale relative Feuchtigkeit wurde durch verschiedene Literatur festgestellt. Nach dem BVET (2002) ist der Optimalbereich 50 - 80 %. Nach KAUFMANN et al. (1996) liegt die optimale Luftfeuchte für Rinder bezogen auf den Haltungsbereich zwischen 60 - 80 %. Nach DIN 18910-1 sind die angestrebten Werte für Ställe mit Heizung 60 - 80 % und Ställe ohne Heizung 40 - 70 % (GROTE et al., 2006). Die relative Luftfeuchtigkeit sollte 50 % nicht unter- und 90 % nicht überschreiten. Bei Optimaltemperatur sind Bereiche zwischen 60 - 80 % wünschenswert (TiHo, 2006).

Rinder sind in einem bestimmten Temperaturbereich verhältnismäßig unempfindlich gegenüber der Luftfeuchtigkeit. So blieb eine hohe Luftfeuchtigkeit von über 90 % bei Temperaturen zwischen -8 und + 24 °C ohne Einfluss auf die Milchleistung (BROWN, 1960). Eine hohe Luftfeuchtigkeit ist bei höheren Temperaturen ungünstig, weil die Wärmeabgabe erschwert wird. RAGSDAL et al. (1953) führen an, dass Veränderungen der Milchleistung, die parallel zu Veränderungen der Luftfeuchtigkeit verlaufen, bei niedrigeren Lufttemperaturen nicht auftraten (SCHWARK, 1972).

Abb. A1.18: Auswirkung der oberen- und unteren Grenze der Luftfeuchtigkeit auf den Tieren

Nachteile bei < 50 % RF	Austrocknung luftexponierter Schleimhäute (Atemtrakt, Augen), erhöhte Staubbildung
Vorteile bei < 50 % RF	erhöhtes Dampfdruckgefälle zwischen Tier und Umgebung. Folge: thermische Entlastung bei hohen Temperaturen (Schwitzen, Hecheln).
Nachteile bei > 90 % RF	geringes Dampfdruckgefälle. Folge: thermische Belastung bei hohen Temperaturen, Kondensationkeime (Haare) fungieren als „Wasserfalle“ (Spon-tankondensation) Folge: Auskühlung des Körpers

c. Licht, Belichtung und Beleuchtung

Haustiere dürfen nicht dauernd im Dunkeln gehalten werden. Die Tiere brauchen Licht, um sich in der Stallumwelt richtig bewegen zu können, und zu einer gewissen Außensteuerung der Hormontätigkeit. Licht benötigen auch die Viehpfleger, um eine sachgemäße Arbeit leisten und die Tiere gut beobachten zu können.

Tageslicht ermöglicht nicht nur die visuelle Orientierung der Tiere im Raum, sondern auch andere physiologische Funktionen (Infrarot-Strahlung, Tag-Nacht-Rhythmus, Stimulierung der Geschlechtsdrüsen). Es wirkt über seine spektrale Zusammensetzung, seine Strahlungsintensität und seinen zeitlichen Rhythmus im Tages- und Jahresverlauf auf den Organismus.

Das Sonnenlicht beeinflusst den Tierkörper günstig, wenn es auch nur auf die Oberfläche und oberflächennahen Gewebe der Tiere einwirkt. Vor allem die im Sonnenlicht enthaltenen ultravioletten Strahlen sind von Bedeutung. Sie aktivieren das Vitamin D, das bei den Tieren Knochenweiche verhindert. Das Sonnenlicht aktiviert weiterhin den Stoffwechsel und ist ein wichtiger Desinfektionsfaktor der tierischen Umwelt (MEHLER und HEINIG, 1968).

In artgemäßer Haltungsumwelt erfüllen sich die natürlichen Ansprüche der Tiere an das Licht durch gleichmäßiges Ausleuchten der Stallräume mit Tageslicht und ständigem Zugang zu einem Auslauf im Freien. Als Richtwert gilt eine für Tageslicht durchlässige Gesamtfläche in Wänden oder Decke von mindestens einem Zwanzigstel der Bodenfläche (BVET, 2003A).

d. Luftbewegung

Der Stall muss mit genügend Frischluft versorgt werden. Die Mindestfrischluftmasse soll für Abführung des im Stall anfallenden Wasserdampfes und der Schadgase wie Ammoniak (NH_3), Schwefelwasserstoff (H_2S) und Kohlendioxid (CO_2) ausreichen. Die Frischluft muss im gesamten Tierbereich gleichmäßig verteilt werden. Zugluft ist bei allen Nutztierarten möglichst zu vermeiden. Besonders wichtig ist Zugfreiheit auf dem Liegeplatz, damit sich die Tiere bei Bedarf vor Wärmeverlusten schützen können, sowie bei durchnässten Tieren, die tiefen Temperaturen ausgesetzt sind. In Ausläufen und bei Freilandhaltung muss den Tieren ein Windschutz angeboten werden. Das Optimum der Luftgeschwindigkeit hängt wesentlich von der Lufttemperatur ab. So kann im Sommer zur Verhinderung eines Wärmestaus eine Abkühlung der Tiere durch eine angemessen hohe Luftbewegung willkommen sein. Im Winter dagegen kann eine zu hohe Luftgeschwindigkeit zu starken Wärmeverlusten führen. Bei gleicher Lufttemperatur ist die Abkühlung umso stärker, je größer die Luftgeschwindigkeit ist (BVET, 2002).

A1.4.3.2 Chemische Faktoren

Hauptbestandteile trockener, atmosphärischer Luft sind Stickstoff (78,08 %), Sauerstoff (20,95 %), Kohlendioxid (0,03 %), Argon (0,93 %) sowie andere Edelgase (0,01 %) (HEYER, 1972).

In Ställen der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung können mehr als 300 Gase und in der Rinderstallluft etwa 136 nachgewiesen werden. Schädliche Gase im Rinderstall sind vor allem Ammoniak, Schwefelwasserstoffe und Kohlendioxyd (TiHo, 2006; HARTUNG, 1988). Diese Gase können primär auf die Atmungsorgane der Tiere treffen, wirken auf den Gesamtorganismus ein und setzen die Widerstandskraft herab. Bei steigender Temperatur der Zuluft nehmen die Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung zu (OLDENBURG, 2002). Maximalkonzentrationen für die drei wichtigsten Schadgase sind in der Tabelle A1.19 angegeben.

Tab. A1.19: Die maximalen Tierplatzkonzentrationen (MTK-Wert) von Schadgasen (RICHTER et al., 1992; Fachbereichstandard TGL, 1974)

Gas	MTK-Wert ^{*)}			
	[ppm] ^{**)}	[Vol.-%]	[mg/m ³]	[g/kg]
Ammoniak (NH ₃)	30	0,003	21	0,02
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	5	0,0005	7	0,006
Kohlendioxid (CO ₂)	3500	0,350	6430	5,35

^{*)} alle Werte gelten für Luftdichte von 1,2 kg/m³, ^{**)} ppm: parts per million.

Gute Luftqualität ist nach DIN 18910, wenn der Kohlenstoffdioxidgehalt (CO₂) der Luft nicht über 3300 ppm liegt. Ammoniak (NH₃) und Schwefelwasserstoff (H₂S) sollten nicht in gesundheitsschädlichen Konzentrationen auftreten, wobei man von 20 ppm für NH₃ und von 5 ppm für H₂S ausgehen kann. Die Ziele bezüglich der Schadgaskonzentration, die im Stall erreicht werden sollen, müssen also unter diesen Werten liegen.

a. Ammoniak (NH₃)

Ammoniak entsteht durch Abbau von Harnstoff, Harnsäure und Proteine. Es ist leichter als Luft. Trotzdem herrschen am Boden, auf dem der Mist liegt und das Gas entsteht, zumeist die größeren Konzentrationen als unter der Decke. Durch Thermik und Luftströmungen wird es verdünnt und abgeführt (BVET, 2002). NH₃ wirkt bei Tier und Mensch stark, wie folgt: 30 ppm: Infektionsrate erhöht und Sinken der Leistung, 50 ppm: Schleimhautreizungen, 70 ppm: Keratokonjunktivitis bei Geflügel und > 10 000 ppm: tödlich (TiHo, 2006).

b. Schwefelwasserstoff (H₂S)

Er ist schwerer als Luft und bildet sich an den tiefsten Stellen, also in den Güllekanälen und Gruben. Sobald messbare Konzentrationen vorhanden sind, können Mensch und Tier gefährdet werden. Beim Aufrühren oder Umspülen von Gülle wird H₂S freigesetzt und häufig schwallartig (Wolkenbildung) in die Stallluft abgegeben (NOSAL, 1997). Unter diesen Umständen können lebensgefährliche H₂S-Konzentrationen auftreten (BVET, 2002). Seine Wirkung ist wie folgt: 10 ppm: Augenreizung, 100 ppm: Lungenreizung, 150 ppm: Lähmungen, 500 ppm: Hirn-ödem, Koma und > 700 ppm: tödlich (TiHo, 2006).

c. Kohlendioxid (CO₂)

Es entsteht in Stall vor allem durch die Atmung, weiterhin durch Darmgase der Tiere, durch Fäulnis, durch Gärungsprozesse und durch die Abgase beim Durchfahren mit dem Schlepper. Ein GV-Rind atmet in der Stunde etwa 2,5 m³ und somit ca. 100 l CO₂ aus. Einschließlich des Kohlendioxids aus den Gärungsprozessen ist mit insgesamt 160 l CO₂ je GV und Stunde zu rechnen. CO₂ ist schwerer als Luft, verteilt sich aber relativ gut im Stallraum. In schlecht gelüfteten Ställen müssen die Tiere diese verbrauchte Luft immer wieder einatmen. Die Luft in Ställen mit einer Konzentration von weniger als 2,5 ‰ CO₂ wird als gut bezeichnet, bis 4 ‰ noch als tragbar und über 4 ‰ als schlecht (MEHLER und HEINIG, 1968). Seine Wirkung ist wie folgt: 30.000 ppm: Atembeschleunigung, 40 000 ppm: Schläfrigkeit, 60 000 ppm: asphyktische Atmung und > 80 000 ppm: Bewusstlosigkeit und Tod (TiHo, 2006).

d. Kohlenmonoxid (CO)

Sein Herkunft liegt bei Heizsystemen (z.B. Gaskanonen) mit offener und unvollständiger Verbrennung von gasförmigen Energieträgern (Propan, Butan), sowie beim Einsatz von Verbrennungskraftmaschinen im Stall (z.B. Traktor). Die Wirkung ist: 200 ppm: Totgeburten und Ver-

werfen (Schwein), 700 ppm: Bewusstlosigkeit (CO-Hämoglobin > 40 %) und > 2000 ppm: akute Todesfälle (CO-Hämoglobin > 60 %) (TiHo, 2006).

A1.4.3.3 Biologische Faktoren

Außer den chemischen Verunreinigungen enthält die Stallluft Staub. Der Staubgehalt in der Stallluft setzt sich vorwiegend aus einem Gemisch von organischen Partikeln aus Einstreu, Futter, Haut-/Haar-/Federbestandteilen und Kot zusammen. Außerdem besteht er aus Pilzsporen, Hautschuppen, Haarteilen, Bakterien und Wurmeiern. Die schädigende Wirkung des Staubes wird dadurch verschärft, dass Schadgase (zum Beispiel Ammoniak), Mikroorganismen und von Bakterien stammende Giftstoffe (Endotoxine) an Staubpartikel gebunden in die Lunge transportiert werden können (BVET, 2002). Wenn auch die Nasen-, Kehlkopf- und Luftröhrenschleimhaut viel Staub absorbiert, so gelangt dennoch ein großer Teil in die Lunge. Dabei können die im Staub enthaltenen scharfen rissigen Nadeln und Lanzen die Epithelien der oberen Luftwege verletzen (MEHLER und HEINIG, 1968).

A1.4.4 Temperaturregulierung und Wärmeabgabe beim Milchvieh

Rinder verfügen über eine gute Thermoregulation. Sie haben eine verhältnismäßig große Körpermasse und deshalb eine hohe Wärmeerzeugung (Abb. A1.16). Sie beeinflussen durch die Abgabe von Wärme, Wasserdampf und Kohlendioxid die Stallluftqualität. Um die Körperfunktionen aufrechterhalten zu können, müssen die Körpertemperatur konstant gehalten und die Wärmeabgabe gewechselt werden. Die Abbildung A1.17 zeigt der thermischen und kritischen Zonen mit Verlauf der Körpertemperatur und der Wärmeabgabe (AEL, 2007; KECK, 2004).

Diese Wärme wird direkt oder indirekt an die Umgebung abgegeben. Die direkte Wärmeabgabe, „sensible Wärme“, wird bei niedrigen Umgebungstemperaturen und die indirekte Wärmeabgabe, „latente Wärme“, wird bei hoher Temperatur abgegeben. Die Tabelle A1.20 zeigt die Gesamtwärmeproduktion der Kühe in Bezug auf die Umgebungstemperatur. Aus dieser Tabelle kann man schließen, dass, je niedriger die Umgebungstemperatur, desto höher der Anteil der sensiblen Wärme ist, und je höher die Umgebungstemperatur, desto höher der Anteil der latenten Wärme ist.

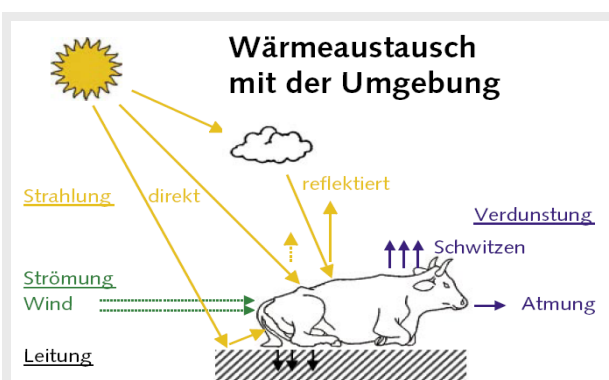


Abb. A1.16: Abführung der überschüssigen Wärme über Leitung, Strömung, Strahlung und Verdunstung abführen (KECK und ZÄHNER, 2004)

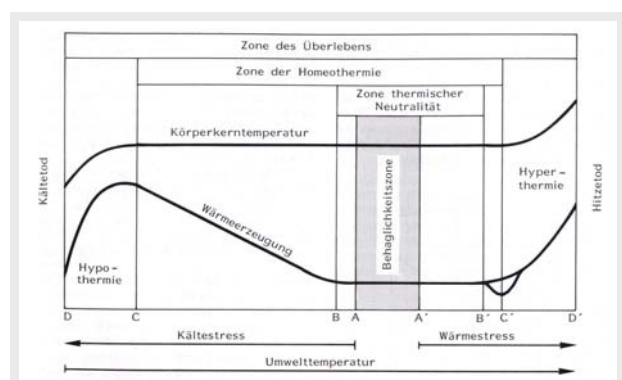


Abb. A1.17: Darstellung der Zonen der thermischen Neutralität sowie der kritischen Zonen (Bianka, 1968)

Tab. A1.20: Wärmeproduktion und Wasserdampfabgabe einer Hochleistungskuh (10 000 kg Milch/Jahr) im ersten Laktationsdrittel (Heidenreich, 2008; * DIN, 18910 (In. Haidn et al., 2008))

Umgebungs- temperatur	Gesamtwär- meproduktion	Wärmeabgabe (sensible Wärme)		Wasserdampf- produktion (latente Wärme)	Kuh* 700 kg Lebensgewicht nicht trächtig 30 kg Milch pro Tag ↓ Gesamtwärme- produktion 1365 W 546 W/m² bei 30 °C ↙ ↘ Direkte Latente Wärmeabgabe Wärmeabgabe 445 W 920 W 178 W/m² 368 W/m²
[°C]	[Watt]	[Watt]		[Watt]	
-10	ca. 3500	ca. 2800	165 %	ca. 1054	
0	ca. 2200	ca. 1700	100 %	ca. 650	
5			91 %		
10	1800	1400	81 %	600	
15			73 %		
20	1730	1120	66 %	880	
25			53 %		
30	1650	540	32 %	1640	
35	1490	60	4 %	2100	

Rinder geben ihre überschüssige sensible Wärme ab durch:

- A. Konvektion (Mitführung):** Konvektion ist Wärmeübertragung zwischen bewegten festen, flüssigen oder gasförmigen Medien. Durch Luftbewegung in Tiernähe wird Luft ständig ausgetauscht. Je stärker die Luftbewegung im Stall ist, desto größer ist der Wärmeentzug. Durch die Luftbewegung wird das schützende Wärme- und Wasserdampfpolster zwischen den Haaren zerstört und somit Wärme abgeführt. Die Bewegung der Luft kann sowohl durch Zwangslüftung als auch durch Thermik entstehen.
- B. Konduktion (Leitung):** Wärmeleitung bedeutet Wärmefluss von einem Körper zum anderen. Die Wärme von der warmen Oberfläche des Tierkörpers wird an die kältere Umgebung abgegeben. Diese Art der Wärmeübertragung kann bei Rindern zwischen Hautoberfläche und Liegefläche und zwischen den Kontaktflächen zweier Tiere entstehen. Bei schlecht gedämmter Liegefläche wird dem Tier durch Ableitung viel Wärme entzogen. Der Gehalt der Luft an Wasserdampf beeinflusst ebenfalls die Wärmeabgabe. Feuchte Luft ist ein guter, trockene Luft dagegen ein schlechter Wärmeleiter. Bei hoher Luftfeuchte im Stall wird dem Tier infolge der guten Leitfähigkeit der feuchten Luft viel Wärme durch Leitung entzogen.
- C. Radiation (Strahlung):** Die Temperatur der Hautoberfläche eines Tieres ist um einige Grad niedriger als die Körpertemperatur und beträgt ca. 35 °C. Sie liegt im Allgemeinen etwas höher als die der Stallluft, so dass überschüssige Wärme im Tierkörper infolge der Temperaturdifferenz zwischen Hautoberfläche und Stallluft durch Strahlung abgegeben werden kann. Je größer die Temperaturdifferenz ist, umso größer ist die Möglichkeit, Wärme durch Strahlung abzugeben (KALICH, 1970; BÜSCHER, 2005).

Bei Stalltemperaturen über 15 °C gibt es zwei Möglichkeiten der Wärmeabgabe, und zwar durch Strahlung und Verdunstung. Bei höheren Temperaturen erfolgt die indirekte Wärmeabgabe, sogenannte „latente Wärme“, durch Verdunstung von Feuchtigkeit über die Atemwege und Schwitzen über die Hautporen (KALICH, 1970).

Je höher die Umgebungstemperatur und je niedriger die Luftfeuchte sind, umso größer wird die

Wärmeabgabe durch Verdunstung und umso geringer durch Strahlung und Leitung, da die Temperaturdifferenz zwischen Hautoberfläche und umgebender Luft klein ist und trockene Luft ein schlechter Wärmeleiter und das Aufnahmevermögen der trockenen Luft für Wasserdampf viel größer ist als bei feuchter Luft. Bei dem Atmungsvorgang wird die Luft in der Lunge auf etwa 34° C erwärmt und mit Wasserdampf gesättigt (KALICH, 1970).

Nach JENTSCH et al. (2001) beträgt die Wärmeabgabe einer Hochleistungskuh bei 30 Liter Milchleistung bis zu 15 kWh/Tag. Diese Wärme muss sie hauptsächlich in Form von Wasser ausschitzen und veratmen. Je wärmer es wird, desto mehr Wasser muss die Kuh verdampfen. So gibt sie bei einer Temperatur von 15 °C stündlich etwa 0,7 Liter Wasser ab, bei einer Temperatur von 30 °C bereits das Doppelte. An typischen Sommertagen mit einer Tagesdurchschnittstemperatur von 23 °C schwitzen und veratmen Kühe ca. 24 Liter Wasser am Tag (MAHLKOW, 2007).

Die Höhe der Abgabe hängt in erster Linie von der Tierart und dem Gewicht der Tiere, weiter von der vorhandenen Stalllufttemperatur, der relativen Luftfeuchte, der Trocken- und Feuchtbeschaffenheit des Stalles in Bezug auf die Windrichtung und -geschwindigkeit ab (Abb. A1.18). Sie wird aber auch vom Fütterungs- und Haltungsverfahren beeinflusst.

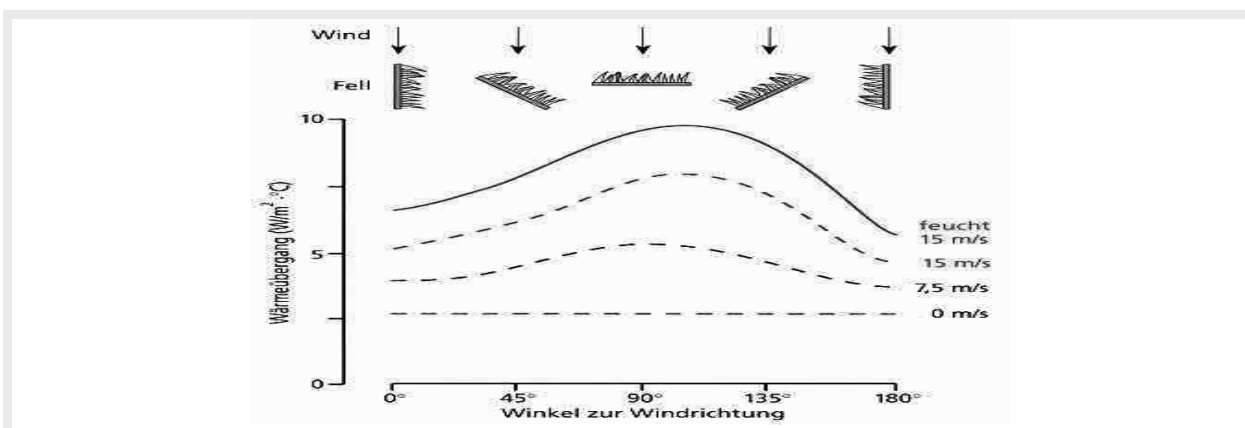


Abb. A1.18: Wärmeabgabe über das Fell in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Trocken-/ Feuchtbeschaffenheit des Felles (TiHo, 2006)

Tab. A1.21: Stallklima und Abgabe von sensibler Wärme, Wasserdampf und Kohlendioxid sowie sommerlicher Mindestvolumenstrom je Tier in geschlossenen Ställen (DIN 18910)

Tierart	Rechenwert des Stallklimas				Tier- gewicht	Sensible Wärme	Wasser- dampf	CO ₂	Volumen- strom Sommer
	Optimum	Sommer	Winter						
	t _i [°C]	φ [%]	t _i [°C]	φ [%]	[kg]	[W/Tier]	[g/h]	[1/h]	[m ³ /h]
Milchkühe, Kälber, Bul- len, Jungvieh- aufzucht	0 - 20	60 - 80	10	80	60	180	77	28	50
					200	452	172	70	120
					500	887	322	133	240
					800	1114	400	160	300
Jungviehmast, Mastbullen	20 -12	60 - 80	16	80	200	452	193	70	120
					500	887	361	133	240
Mastkälber	20 -12	60 - 80	18	70	60	180	115	28	50
					200	452	258	70	120

Tab. A1.22: Gesamtwasserdampfanfall, Kohlendioxidabgabe und Wärmeströme in Rinderställen (¹ AEL, 2007; ² Richter, 1992)

Körper- masse je Tier	Winter / Sommer							Winter	Winter	Sommer
	Gesamtwasserdampfanfall							Kohlendi- oxid	Sensible Wärme	Sensible Wärme t = 30 °C
	Stalllufttemperatur [°C]							[g/Tier.h]	[W/Tier]	[W/Tier]
	0	5	10	15	20	25	30			
[kg]	X _{ST} [g/Tier.h]							K _{ST} [g/Tier.h]	Φ _{ST,W} [W/Tier]	Φ _{ST,S} [W/Tier]
50	46	55	66	90	120	160	200	39	105	41
100	88	110	120	145	180	232	285	75	201	78
	126	153	162	197	243	292	350	107	287	112
200	161	205	225	265	355	382	460	137	367	143
300	224	260	305	370	440	537	620	190	510	200
400	280	320	380	440	533	634	750	238	638	250
500	339	380	440	530	640	750	880	288	774	303
600	370	440	510	610	730	860	1010	317	843	330
700	399	500	590	705	820	960	1120	339	910	356
800	427	-	-	-	-	-	-	n.n.	975	381
Lit.:	1	2	2	2	2	2	2	1,2	1	1

Tab. A1.23: Planungsdaten und Richtwerte für Stallklima (DIN 18910; Ldw. Kammer - Hannover, 1983)

	Richtwert Sommer		Richtwert Winter		Optimale Trans- missionswärme- verlust	Wärmeleistung je Tier	Optimal Wärm- einhalt	Erforderliche Lufraten	
	Luft- temperatur	Luft- feuchtigkeit	Luft- temperatur	Luft- feuchtigkeit				Winter	Sommer
Tierart / Zeitab- schnitt	t _i	φ	t _i	φ	Q _{Tr}	Q _{Ti}	h	V _{min}	V _{max}
Einheit	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[W/GV]	[W/GV]	[kJ/kg]	[m ³ /GV]	[m ³ /GV]
Milchkühe	0-20	60-80	10	80	550	1.400	22	100	600
Milchkühe (hochleistend)					550	1.800	22	100	600
Kälber ≤ 150 kg	16-20	60-80	18	70	300	1900	42	100	600
Jungvieh ≥ 150 kg	12-20	60-80	16	80	300	1700	37	100	600
Mastbullen ≥ 400kg	12-20	60-80	16	80	400	1650	30	85	600
	DIN 18910 (In: Recknagel et al., 1999)				(Ldw. Kammer - Hannover, 1983)				

A1.4.5 Einfluss des Hitzestresses auf Milchvieh und seine Milchleistung

Unter Hitzestress versteht man einen physiologischen Belastungszustand, bei dem das Tier seinen Wärmehaushalt nicht mehr passiv regulieren kann. Es kann dann seine Wärme nicht mehr in dem Maße abgeben, wie es bei einer hohen Leistung (für Wachstum oder zur Milcherzeugung) notwendig ist. Technische Ursachen für Hitzestress liegen oftmals in der zu geringen Luftleistung der Lüftungsanlage beim zwangsbelüfteten bzw. zu kleinen Öffnungen beim frei belüfteten Stall (BÜSCHER, 2005).

Die Höhe der Milchleistung wird durch direkte und indirekte Einwirkung beeinflusst. Die Klima-

faktoren wirken über das vegetative Nervensystem auf den Organismus direkt. Indirekte Wirkung ist vor allem über das Futter, Futterzubereitung und -lagerung und schließlich über die Futterqualität gegeben (SCHWARK, 1972).

Nach verschiedener Literatur wurde der Einfluss der Umgebungstemperatur auf Milchkühe und ihre Milchleistung angegeben und in den folgenden Punkten zusammengefasst:

- WEST (2003) führt aus, dass lange Perioden mit hoher Umgebungstemperatur und gleichzeitig hoher relativer Luftfeuchtigkeit die Fähigkeit von laktierenden Kühen mindern überschüssige Hitze abzugeben. Kühe mit erhöhter Körpertemperatur erzielen geringere Futteraufnahmen und Milchleistungen, sie produzieren Milch mit verringerter Effizienz und Rentabilität in heißem, feuchtem Klima.
- COOK et al. (2007) haben festgestellt, dass der Hitzestress für Kühe bereits bei 21 °C Stalltemperatur beginnt und sich ab 25 °C auch negativ auf die Milchleistung auswirkt. Als Indikator für die Belastung der Tiere bereits ab 21 °C können auch Verhaltensänderungen dienen.
- LINDLEY und WHITAKER (1996) stellten fest, dass die optimale Temperaturspannweite von 16 bis 18 °C reicht.
- STOWELL (2000) berichtet, dass, wenn die Temperatur den oberen kritischen Wert von 25 °C überschreitet, starke Verluste bei der Milchleistung auftreten.
- FISCHER und HELM (2004) haben festgestellt, dass der Hitzestress ab 18 – 20 °C Stalltemperatur gerechnet werden könnte. Zu diesem Zeitpunkt ist die Kuh zwar noch in der Lage, die Wärmeproduktion aus einer Milchleistung von ca. 33 bis 35 kg plus dem Erhaltungsbedarf durch den direkten Wärmeaustausch über die Haut (Konvektionswärme) bzw. über Ausscheidungen, wie Atemluft, Harn, Kot und Milch auszugleichen, aber es sind oftmals auch erste Auswirkungen auf Futteraufnahme und Milchleistung (Fett-Eiweißgehalt) erkennbar. Bei einem weiteren Temperaturanstieg um 10 °C sind dann, insbesondere bei Kühen mit hoher Leistung, im Flankenbereich Schweißflächen zu beobachten, und die Atemfrequenz kann bis zum Hecheln ansteigen.
- MAHLKOW (2007) hat berichtet, dass ab 24 - 27 °C der leichter Stress anfängt, daher beginnen die Tiere zu pumpen, d.h. ihre Atemfrequenz nimmt deutlich zu (bis 80/mm). Die Kühe liegen weniger, stehen mehr herum, bevorzugt an offenen Toren und an Tränken. Bei hohen Temperaturen ab 27 °C wird von erheblichem Stress gesprochen, die Tiere hecheln mit langem Hals und offenem Maul. Verringerung der Futteraufnahme um 10 - 25 %, um den Stoffumsatz zu begrenzen. Reduzierung der Milchleistung.
- MEHLER und HEINIG (1968) haben festgestellt, dass Kühe auf Lufttemperaturen von über 15 °C mit einer erhöhten Atemfrequenz und Wasserverdunstung reagierten. Bereits bei mäßig hoher Lufttemperatur über 20 °C haben Kühe bei stehender Luft Schwierigkeiten, genügend Wärme abzuleiten, um normale Körpertemperaturen beizubehalten. Appetitlosigkeit und eine geringe Futteraufnahme wurden bei Kühen ab 21 °C festgestellt. Die Folge davon ist eine geringere Milchleistung. Über 25 °C fällt in der Regel die Milchleistung beträchtlich ab. Bereits bei Temperaturen um 30 °C scheint die Verdunstung durch die Haut das Maximum zu erreichen und führte auch zu einer Verminderung der Schilddrüsentätigkeit.
- SOMMER (1965) hat festgestellt, dass ein Ansteigen der Lufttemperatur über 27 °C eine

schnelle Verminderung der Futteraufnahme bei Kühen zur Folge hat.

- NAUHEIMER und WENIGER (1986) zeigten, dass es negative Effekte von zu hohen Temperaturen (30 °C bei 50 % rel. Luftfeuchte zu 15 °C und 70 % rel. Luftfeuchte) auf die Milchleistung und die Energieaufnahme von frisch laktierenden Kühen gibt.
- BROWN (1960) hat festgestellt, dass bei Temperaturen über 24 °C mit feuchte Luft für Kühe unangenehm ist. Sie führt zu Erschlaffungen und mindert den Appetit, so dass sich eine erhöhte Luftfeuchtigkeit ebenso schädlich wie eine Temperatursteigerung auswirkt. Temperaturen von 29 °C mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 44 % verursachten bei Kühen der Holsteiner Rasse einen Rückgang der Milchproduktion um 3 %, während 90 % relative Luftfeuchtigkeit bei der gleichen Temperatur einen Rückgang der Milchproduktion um 31 % mit sich brachte.
- Der optimale Temperaturbereich liegt nach LOMMATZSCH (1989) bei 12 - 20 °C und nach STRACK (1990) zwischen 5 - 20 °C.
- Nach PAGOT (1993) führt eine Temperatur von über 25 °C und nach NICHELMANN (1999) von mehr als 27 °C bei hoher Luftfeuchtigkeit über längere Zeit zu einer Reduzierung der Futteraufnahme bei Milchkühen, wodurch eine deutliche Leistungseinbuße hervorgerufen wird.
- JORDAN (2003) hat festgestellt, dass Kühe bei thermoneutralem Stallklima signifikant länger liegen, möglicherweise ist dies auch eine Ursache für den Rückgang der Milchleistung bei zunehmender Hitze. Eine weitere negative Auswirkung von Hitzestress auf Milchkühe ist die geringere Fruchtbarkeit.
- ARMSTRONG (1993) hat festgestellt, dass der Hitzestress bei Milchkühen von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit zusammen beeinflusst wird. Der allgemeine Index des Hitzedruckes (THI: Temperature-Humidity-Index / Temperatur-Feuchte-Index) wird von der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit durch die folgende Gleichung berechnet:

$$THI = T_{db} + 0,36 T_{dP} + 41,2 \text{ (ARMSTRONG, 1994A)}$$

(T_{db} : Trockenthermometertemperatur [°C], T_{dP} : Taupunkttemperatur [°C])

In den USA wird der „THI“ häufig für die Behaglichkeit der Rinder angewendet. Für die Kombination aus Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit kann darin die mutmaßliche Auswirkung auf Mensch und Tier abgelesen werden. Die Ergebnisse für Milchkühe sind der Abbildung A1.19 zu entnehmen. Milchkühe fangen an zu leiden, wann immer der THI 72 übersteigt. Für die häufig 70 % beginnt Hitzestress ab 24 °C, ab 27 °C ist mit stärkeren Leistungseinbußen zu rechnen (JONES et al., 1999).

- WEST et al. (2003) hat heraus gefunden, dass die Wirkung des mittleren (THI) zwei Tage den größten Einfluss auf die Milchleistung hat, während die mittlere Raumtemperatur zwei Tage den größten Einfluss auf die Futteraufnahme hat. Aktuelle Tagestemperaturen hatten den größten Einfluss auf die Temperatur der Milch. In vielen Versuchen werden ähnliche Auswirkungen des Tagesklimas auf die Leistung festgestellt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung deuten an, dass die klimatischen Faktoren der vorangegangenen Tage größere Auswirkungen auf Milchleistung und Futteraufnahme haben können. Der Rückgang der Futteraufnahme bei heißem Wetter war für die Rinder etwa hoch. Diese Sachverhalte sind von Bedeutung für die Prognosegleichungen, die tagesbezogene Um-

weltdaten zur Vorhersage von Milchleistung oder Futteraufnahme nutzen. Umweltdaten, die 2 Tage zurückliegen, hatten größere Auswirkung und eine engere Beziehung zu Änderungen der tierischen Leistung. Diese Änderungen der Umwelt sollten betrachtet werden, um den Einfluss auf die Milchleistung der Kühe zu evaluieren, wenn sie dem Hitzestress unterworfen sind.

▪ BERMAN (2004) hat die Effekte der Isolierung durch Fell bzw. Gewebe und der Isolierung der Umgebung auf den Erhaltungsbedarf von Holstein-Friesian untersucht. Diese werden zur Berechnung der unteren kritischen Temperatur (LCT), sowie der Energiekosten zur Absenkung der Temperatur unter die LCT genutzt, aber auch um die überschüssige Hitze zu bestimmen, die im Körper bei Temperaturen oberhalb der LCT entstehen.

		relative Luftfeuchtigkeit (%)																kein Stress				milder Stress				Hitzestress				starker Hitzestress			
		15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100														
Temperatur (°C)	20	63	64	64	64	64	65	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	67	68	68													
	21	64	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	68	68	68	69	69	69	70	70													
	22	65	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	71	72													
	23	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	73	73													
	24	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	75													
	25	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77													
	26	69	70	70	71	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	78	78	79	79													
	27	70	71	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	77	78	79	79	80	81	81													
	28	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82	82													
	29	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84	84													
	30	73	74	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86	86													
	31	74	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88	88													
	32	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	83	84	85	86	87	88	89	90	90													
	33	76	77	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	90	91	91													
	34	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	93													
	35	77	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	95													
	36	78	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	94	95	96	97	97													
	37	79	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	97	99	99													

Abb. A1.19: Temperatur-Feuchtigkeits-Index (THI) für Milchkühe (ARMSTRONG, 1993)

A1.5 Stalllüftung

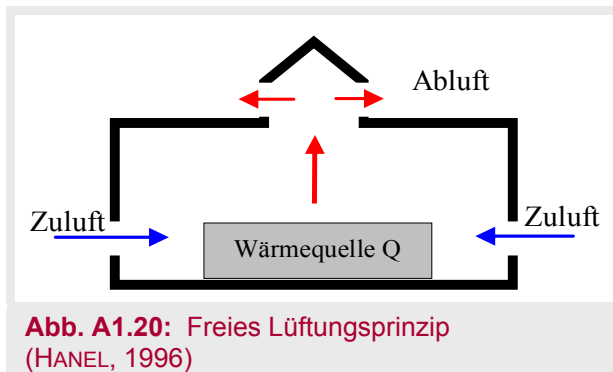
A1.5.1 Prinzip

Die Aufgaben der Stalllüftung können in den folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Zuführung von Frischluft im Stall mit möglichst gleichmäßiger zu Verteilung.
- Abführung überschüssiger Wärme und Feuchtigkeit sowie von gebäudeschädigenden und gesundheitsschädlichen Stoffen.
- Kontrolle des Wärmehaushalts des Stalles.
- Kühlung des Innenraumes des Stalles während des heißen Klimas (Sommer). Diese Kühlung könnte mit anderen Methoden, z.B. der adiabatischen Kühlung, kombiniert werden.

Die meisten Lüftungsvarianten basieren auf dem Prinzip der freien Lüftung (Schwerkraftlüftung) (Abb. A1.20), d. h. durch die Wärmeabgabe der Tiere steigt warme Luft auf, es entsteht Thermik. Der Vorgang wird zusätzlich durch Wind unterstützt.

Um die Luftförderung zum und aus dem Raum (Stall) zu ermöglichen, müssen entsprechende Öffnungen mit dem erforderlichen Strömungsquerschnitt in der Bauhülle vorhanden sein. Die Größe des Strömungsquerschnitts wird durch die Höhe des erforderlichen Luftaustausches sowie die mögliche Durchströmgeschwindigkeit der Luft bestimmt (KIRSCHNER, 1976).



Die Einhaltung einer guten Luftqualität im Winter und zur sommerlichen Entwärmung benötigten Luftraten können sowohl durch mechanische Lüftungsanlagen (Lüftförderung mit Ventilatoren) als auch auf natürlichem Wege (Schwerkraft-Schachtlüftung im Winter und Querdurchlüftung im Sommer) sichergestellt werden. Ein Ventilatorantrieb sollte eingesetzt werden, wenn die baulichen Voraussetzungen für eine einwandfreie natürliche Lüftung (ausreichend große und hohe Abluftschächte, ausreichend Wandöffnungen zur Sommerlüftung) nicht oder nur mit einem sehr hohen Kostenaufwand geschaffen werden können (BARTUSSEK, et al, 2008).

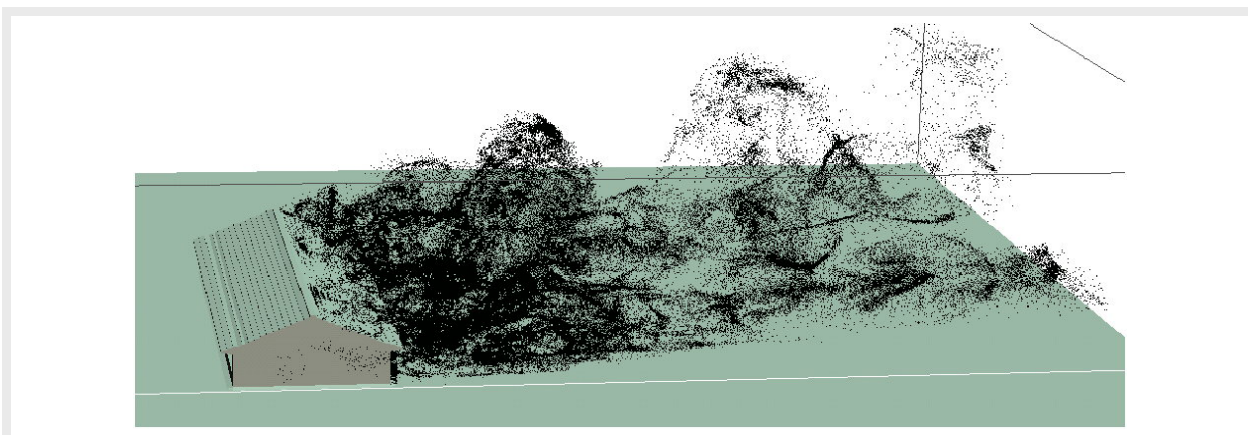


Abb. A1.21: Computersimulation der Abluffahne eines quergelüfteten Stalles (SMUL, 2008)

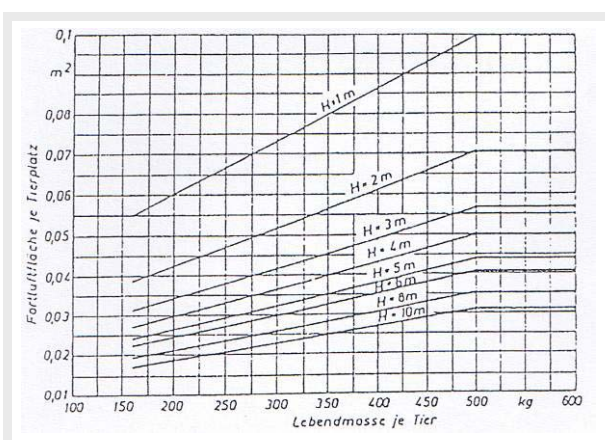


Abb. A1.22: Abluftfläche in Abhängigkeit von der Lebendmasse bezogen auf einen Tierplatz (Rinder) bei unterschiedlichen Auftriebshöhen und einer Außentemperatur von 8 °C (Kaltstall) (MÜLLER, 1997)

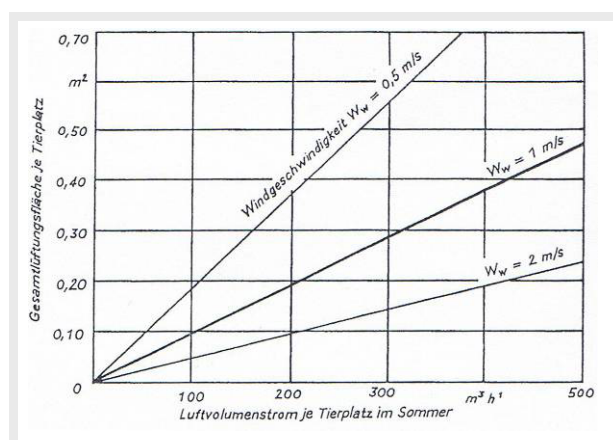


Abb. A1.23: Bemessung der Lüftungsflächen für den Sommerbetrieb (MÜLLER, 1997)

Tab. A1.24: Empfohlene Zu- und Abluftflächen verschiedener Ställe (Kaltstall) (ALB, 1981)

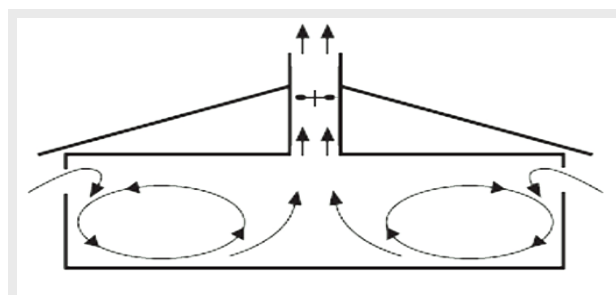
Standort	Zu- und Abluftfläche in m ² /GV
einzelnd stehend, Queranströmung	0,4
ungünstige Lage oder Gebäudebeeinflussung	0,6 - 0,8

A1.5.2 Lüftungssysteme

Die Förderung der Luft kann durch Zwangslüftung, freie Lüftung oder durch Unterstützungslüftung erfolgen. Prinzipiell wird zwischen freier Lüftung und Zwangslüftung unterschieden. Die Wahl der Lüftungssysteme hängt von den Verhältnissen des Stallraumes, seiner Umgebung, von der Betriebsart im Stall und von den wirtschaftlichen Verhältnissen des einzelnen Betriebs ab.

A1.5.2.1 Zwangslüftung

Die Luftförderung wird durch einen oder mehrere Ventilatoren auf der Zuluft- und/oder Abluftseite des Raumes bewirkt. Eine einfachste Form der Zwangslüftung besteht im Einbau eines Ventilators in die Bauhülle; meistens wird der Ventilator mit entsprechenden Leit- und Regeleinrichtungen zur einfachen lüftungstechnischen Anlage komplettiert (Abb. A1.24).

**Abb. A1.24:** Einfachste Form der Zwangslüftung (MÜLLER, 2003 (In: BÜSCHER, 2005))

Die Zwangslüftungseinrichtungen müssen geregelt oder mindestens ein- und ausgeschaltet werden. Diese Regelung setzt die Lüftungsaggregate teilweise oder vollständig in Funktion und bestimmt so den Luftwechsel. Die Größe des Luftstromes wird aus der Wärme- oder Stofflast des Raumes und der spezifischen Lastaufnahme der Zuluft ermittelt. Eigene zusätzliche Ausrüstungen können zum Mischen, Heizen, Kühlen, Befeuchten, Filtern u. ä. verwendet werden (KIRSCHNER, 1976). In Rinderställen wird die Zwangslüftung als Unter-, Über- oder Gleichdrucklüftung betrieben.

a. Unterdrucklüftung

Bei der Unterdrucklüftung wird durch Absaugen der Stallluft ein geringer Unterdruck im Stall erzeugt. Die Zuluft kann über den Dachraum, die Fenster oder durch die Wand- und Deckenschlitze, die über die gesamte Stalllänge reichen, eingeführt und über Kanäle oder Schlitzdecken verteilt werden. Die Öffnungen für die Zuluft müssen genügend groß sein, damit die Lüfter die notwendige Luft befördern können. Die Abluft wird entweder durch Seitenwände oder senkrecht über das Dach ins Freie geführt (Abb. A1.25 - 1) (SMUL, 2008). Die Sauglüftung ist am weitesten verbreitet, weil sie den geringsten Investitions- und Betriebsaufwand erfordert. Vorteilhaft wird sie dort eingesetzt, wo keine zusätzliche Heizung für den Stall und geringe Luftgeschwindigkeiten in Tiernähe erforderlich sind.

b. Überdrucklüftung

Bei der Überdrucklüftung wird die Zuluft mit Ventilatoren in den Stall gedrückt, so dass sich dort

ein leichter Überdruck aufbaut. Die Zuluft wird über Kanäle, Rohre oder Schläuche von wenigen Stellen aus im Stall verteilt. Die Abluft strömt sowohl durch Öffnungen im First oder in den Wänden im Leebereich ins Freie als auch durch Undichtigkeiten in Dachräume oder Nebengebäude. Das System ist nur noch bei Altanlagen anzutreffen (Abb. A1.25 - 2) (SMUL, 2008).

Der Vorteil dieser Lüftungsart liegt in dem Erreichen hoher Luftgeschwindigkeiten am Tierkörper. Dieser Vorteil wird allerdings nur im Sommer benötigt. Im Winter ist das dagegen ein Nachteil. Einige Luftverteilungs Kanäle und Prallplatten werden hier benützt, um die Zuluft in den Atmungs Bereich der Tiere zu bringen.

c. Gleichdrucklüftung

Als Kombination der beiden vorhergehenden Lüftungsarten hat die Gleichdrucklüftung, die als Saug-Druck-Lüftung arbeitet, die Vorteile beider Arten. Das Prinzip beruht auf dem zwangsweise Absaugen der Stallluft und Einblasen der Zuluft. Mit diesem System lassen sich noch weitere Variationen herstellen, indem die Zuluft beheizt (im Winter) oder unbeheizt (im Sommer) eingeblasen wird. Die Anteile der Zu- und Abluft müssen gesteuert werden (Abb. A1.25-4).

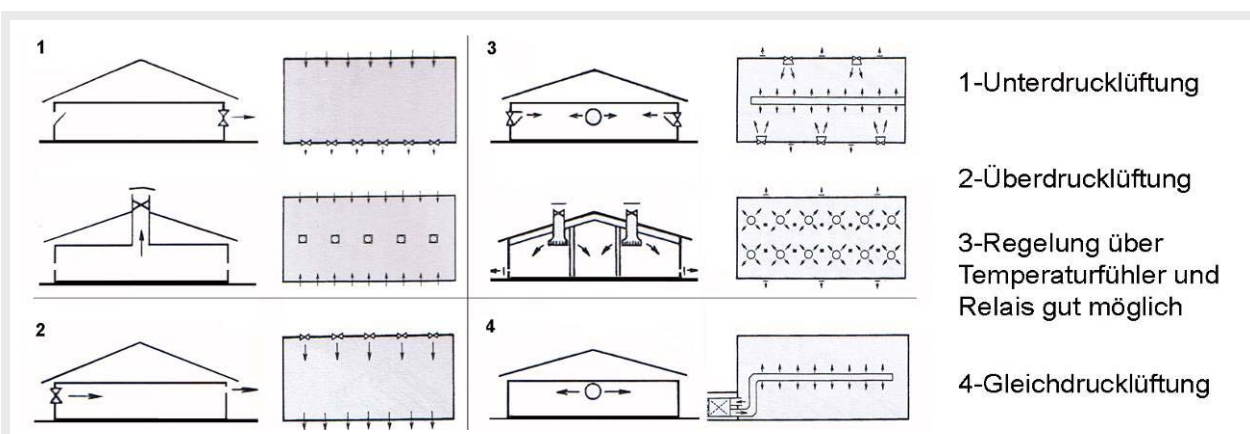


Abb. A1.25: Beispiele für Zwangslüftungsanlagen in Stallbauten (bearb. n. RICHTER et al., 1992)

A1.5.2.2 Natürliche Lüftung

■ Vorteile und Anwendungsgebiete

Die freie Lüftung wird häufig auch als natürliche Lüftung bezeichnet. Die freie Lüftung bringt gegenüber der Zwangslüftung eine wesentliche Reduzierung des Elektroenergieverbrauchs einer Tierhaltungsanlage. Außerdem entfällt die Lärmentwicklung durch die Ventilatoren und die allgemein geringeren Luftbewegungen im Stall führen zu einer Verringerung der Staubbelastung der Stallluft. Als Nachteil muss die starke Abhängigkeit von den außenklimatischen Verhältnissen gesehen werden (MÜLLER und WEGHE, 1992).

Die freie Lüftung kann prinzipiell überall angewendet werden, wo ausreichende Temperaturdifferenzen zwischen Stall- und Außenluft bzw. Windgeschwindigkeiten zur Förderung des notwendigen Volumenstromes vorhanden sind. Einschränkungen ergeben sich für den Einsatz der freien Lüftung durch die starke Außenklimaabhängigkeit, durch niedrige Zuluftgeschwindigkeiten und demzufolge geringe Einflussnahme auf die Raumströmung.

Bevorzugtes Einsatzgebiet für die freie Lüftung sind Tierarten, deren Anforderungen an das

Stallklima relativ gering sind. Deshalb ist in der Rinderhaltung die freie Lüftung weit verbreitet. Nicht nur bei Milchvieh, Mast- und Zuchtrindern, sondern auch in der Kälberhaltung wird die freie Lüftung angewendet. In Schweineställen bestehen höhere Anforderungen an das Stallklima. Deshalb wird die freie Lüftung in der Schweinehaltung relativ selten eingesetzt.

Die Anwendung der freien Lüftung ist sowohl in wärmegeprägten als auch in nicht wärmegeprägten Ställen möglich (MÜLLER und WEGHE, 1992).

Die verschiedenen Systeme der freien Lüftung unterscheiden sich durch Anordnung und Gestaltung von Zu- und Abluftöffnungen. Die Auswahl des Systems richtet sich in erste Linie nach der Größe und Gestalt der Bauhülle (Abb. A1.26). Die Bauteile der freien Lüftung sind Abluftschächte oder Firstschlitze und die Zululuftöffnungen oder luftdurchlässige Zululuftflächen. Eine häufige Einreglung ist durch das Stallpersonal entsprechend den sich ändernden Witterungsbedingungen erforderlich (RICHTER et al., 1992).

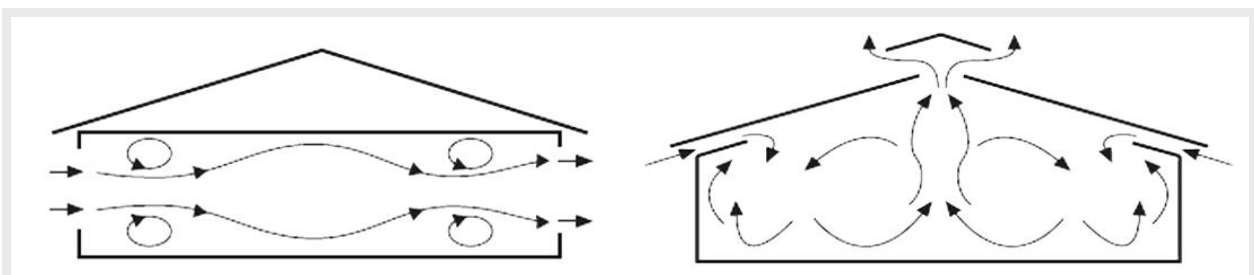


Abb. A1.26: Freie Lüftung (MÜLLER, 2003 (In: BÜSCHER, 2005))

■ Einflussfaktoren

Als Einflussfaktoren auf die Wirkungsweise der freien Lüftung sind der Windeinfluss und der Thermikeinfluss sowie das Zusammenwirken beider zu nennen.

a. Windeinfluss: Die Windströmung ruft an der Oberfläche des Gebäudes eine Druckverteilung hervor. Bei der Umströmung des Stallgebäudes durch den Wind wird an der dem Wind zugewandten Seite (Luvseite) ein Überdruck aufgebaut und an der dem Wind abgewandten Seite (Leeseite) entsteht ein Unterdruck. Die Luft durchströmt aufgrund dieser Druckdifferenz das Gebäude in horizontaler Richtung (Abb. A1.27 und 10.28). (MÜLLER und WEGHE, 1992; KIRSCHNER, 1972).

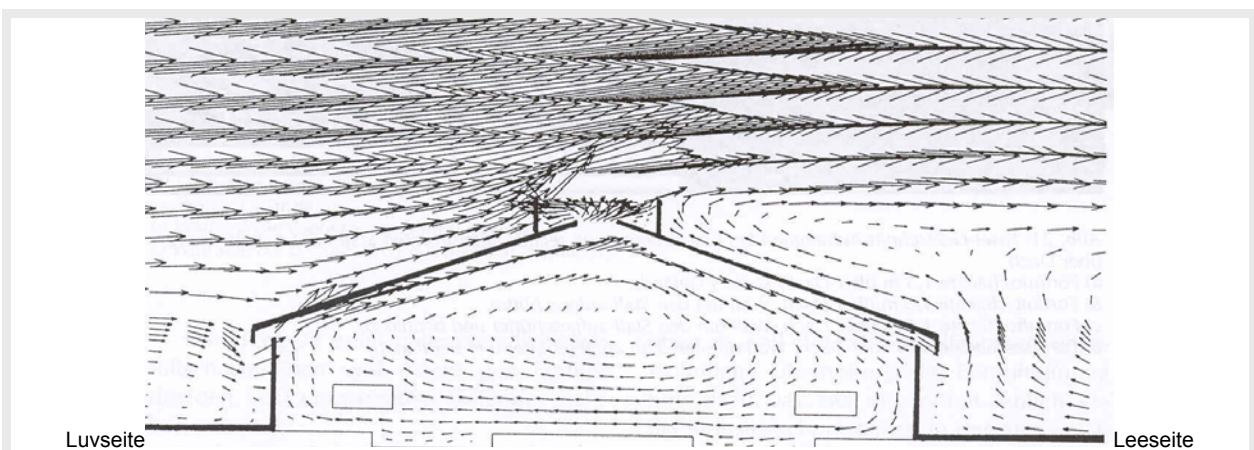


Abb. A1.27: Umströmung und Durchströmung eines quer angeströmten Stallgebäudes (SMUL, 2008)

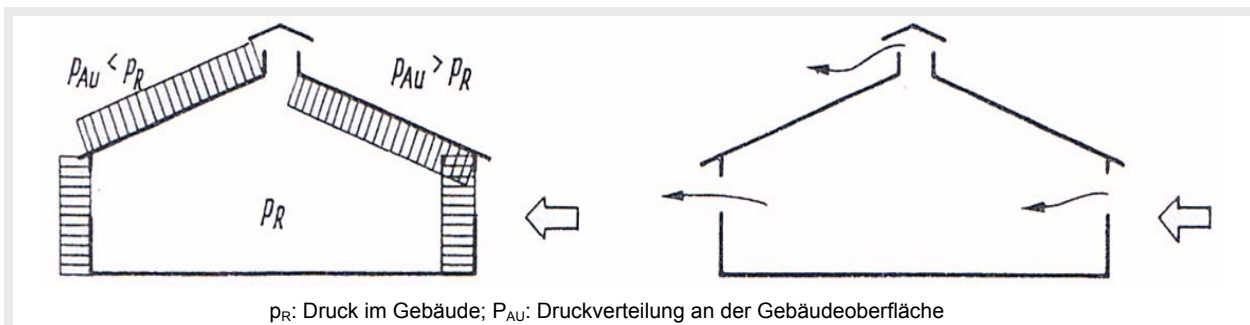


Abb. A1.28: Druckverteilung und Gebäudedurchströmung infolge von Windeinfluss (KIRSCHNER, 1972)

b. Thermikeinfluss: Durch die Temperaturdifferenz zwischen Stallluft und Außenluft bilden sich aufgrund der unterschiedlichen Luftdichten Druckunterschiede zwischen Stallraum und der Außenluft aus. Sind mindestens zwei Luftdurchtrittsöffnungen in verschiedener Höhe des Raumes (Gebäudes) vorhanden, so stellt sich die Verteilung der Druckunterschiede (zwischen innen und außen) in der Art ein, dass unten Luft von außen nach innen und oben von innen nach außen strömt. Je größer der Höhenunterschied zwischen den beiden Luftdurchtrittsöffnungen ist, umso stärker ist der Luftaustausch zwischen Raum und Umgebung (Abb. A1.29) (MÜLLER und WEGHE, 1992; KIRSCHNER, 1972).

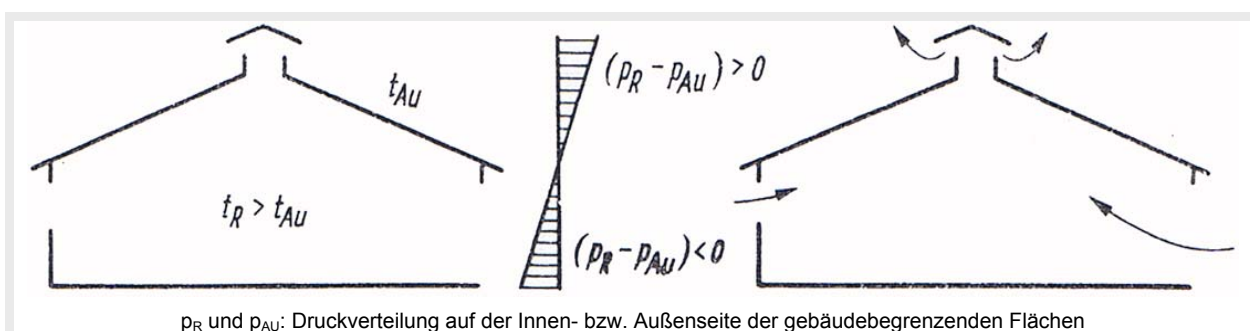


Abb. A1.29: Druckverteilung und Gebäudedurchströmung infolge von Thermikeinfluss (KIRSCHNER, 1972)

c. Wind- und Thermikeinfluss: Im Allgemeinen wirken Wind und Thermik gemeinsam, jedoch mit unterschiedlicher Intensität (Abb. A1.30). Beim landwirtschaftlichen Bauwesen hat der Wind den dominierenden Einfluss. Dafür sind auch die Lage und die Durchlässigkeit der Lüftungsöffnungen mit ausschlaggebend, wozu Abbildung A1.31 drei typische Fälle zeigt (KIRSCHNER, 1972).

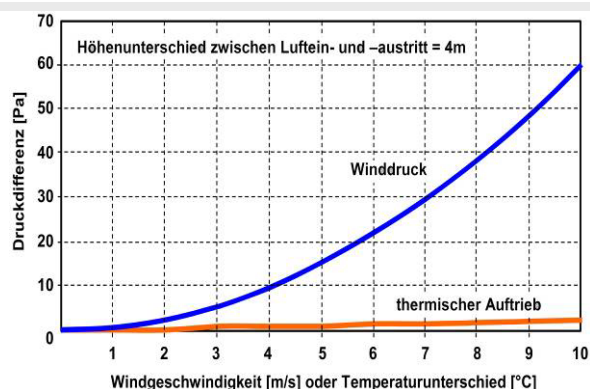
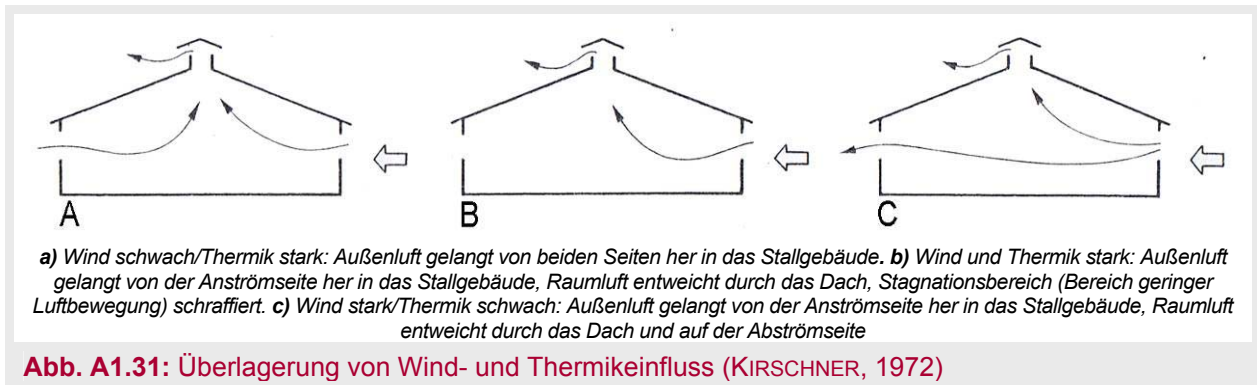


Abb. A1.30: Druckdifferenz bei Wind und thermischem Auftrieb (VAN CAENEGEM und SCHMIDLIN, 1997)



■ freie Lüftungssysteme

Die verschiedenen Systeme der freien Lüftung unterscheiden sich durch Anordnung und Gestaltung von Zu- und Abluftöffnungen. Die Auswahl des Systems richtet sich in erster Linie nach der Größe und Gestalt der Bauhülle. Es sind verschiedene Systeme der freien Lüftung anzutreffen, die in diesem Abschnitt beschrieben werden. In der Abbildung A1.33 sind einige prinzipielle Lösungen schematisch dargestellt.

a. Fensterlüftung

In geschlossenen und nicht belüfteten Ställen muss durch einen kräftigen Luftwechsel eine kurzzeitige gründliche Durchspülung des Raumes erreicht werden. Dazu werden die Fenster und/oder Türen geöffnet. Diese zeitweise Lüfterneuerung verursacht erheblichen manuellen Aufwand und Zugbelastungen (Abb. A1.33 -4) (Kirschner, 1972).

b. Jalousielüftung und Quer- bzw. Längslüftung

Bei der Jalousielüftung wird der Stall vorzugsweise horizontal in Quer- oder Längsrichtung infolge der Druck-Differenzen am Stallgebäude durchströmt. Je nach Anströmrichtung des Gebäudes wird vorzugsweise der Wind zur Luftförderung durch den Stall genutzt. Alle Öffnungen in den Seiten- oder Giebelwänden dienen als Zu- bzw. Abluftöffnungen (MÜLLER und WEGHE, 1992). Durch entsprechende Zusatzeinrichtungen (Jalousien) können sie in ihrem Querschnitt verändert werden. Der kontrollierte Betrieb dieser Lüftung ist durch Regulieren der Öffnungen möglich (Abb. A1.33 -1) (SMUL, 2008).

Offenställe für Milchkühe sind in der Regel quer gelüftete Ställe, die relativ schmal sind und möglichst quer zur Hauptwindrichtung stehen sollten. Der Stall muss an den Seitenwänden und an den Stirnwänden geöffnet werden, damit ein ausreichender Luftdurchsatz erfolgen kann. Man geht derzeit von einer Öffnungsfläche von 0,2 m²/Tierplatz an beiden Seitenwänden aus. Windschutznetze oder Jalousien werden an den Seitenwänden gerne so eingesetzt. Im Sommer kommt es allerdings immer wieder vor, dass der Windeinfluss für eine gute Durchspülung des Stalles nicht ausreicht und eine ausreichende Wärmeabfuhr bei den Tieren nicht gewährleistet ist. Besonders problematisch ist dies, wenn sich die Ställe in einer Tallage befinden oder zu breit sind, oder wenn durch intensiven Bewuchs der Wind über den Stall geführt wird (BÜSCHER, 2005; SMUL, 2008)

c. Schachtlüftung

Bei der Schachtlüftung erfolgt der Luftaustausch über einen entsprechend dimensionierten Ab-

luftschaft. Mit Hilfe der Schächte soll in erster Linie der thermische Auftrieb zur Luftförderung genutzt werden. Die Abluft strömt entweder über mehrere zumeist wärmegeämmte Einzelschächte oder einen zentralen Monoschacht, der wiederum aus mehreren einzeln regulierbaren Teilschächten bestehen kann, aus dem Stall (Abb. A1.33 -2, 3). Im Sommer muss die Lüftung durch Öffnen von Türen und Toren oder durch eine Zusatzlüftung unterstützt werden. Der Einfluss auf die Förderleistung der Schachtlüftung kann durch die Wahl der Schachthöhe genommen werden, da der Luftförderstrom nicht direkt mit der Schachthöhe zunimmt, sondern mit der Wurzel der Auftriebshöhe. Das heißt, die Steigerung der Förderleistung je Meter Schachterhöhung nimmt mit steigender Schachthöhe ab (MÜLLER, 1992).

Die Nachteile dieser Art der freien Lüftung bestehen darin, dass Zugerscheinungen nur schwer zu vermeiden sind (Winter) und die Wirkung des Schachtes in der Übergangs- und der warmen Jahreszeit verringert wird und zeitweise ganz aufhört. Die Schachtlüftung ist in kleineren neuen Ställen mit niedrigen Anforderungen an das Stallklima geeignet (SMUL, 2008; KIRSCHNER, 1972).

d. Trauf-First-Lüftung

Bei Ställen mit Trauf-First-Lüftung wird der Stallraum nach oben hin durch das Dach abgeschlossen. Es sollte mindestens 15° geneigt sein, um einen ausreichenden Luftdurchsatz zu gewährleisten. Die Zuluft strömt an den Traufen oder über eine Schlitzwand in den Stall ein. Die Abluft wird durch einen über die gesamte Firstlänge offenen Firstschlitz, der Hauben oder Kuppeln als Regenabdeckung aufweisen kann, und Traufschlitze abgeleitet. Zur Regulierung der Luftvolumenströme können die Zu- und Abluftöffnungen mit verstellbaren Klappen zur Querschnittsänderung ausgestattet sein. Die Zu- und Abluftöffnungen bei der Trauf-First-Lüftung oder bei der Schachtlüftung sollten in Abhängigkeit von der Stallhöhe und dem Tierbesatz entsprechend den Angaben in Tabelle A1.25 dimensioniert sein (SMUL, 2008).

Tab. A1.25: Zu- und Abluftöffnungen bei Trauf-First-Lüftung in Abhängigkeit von der Stallhöhe (SMUL, 2008)

Stallhöhe am First	Zu- und Abluft- fläche	Zu- und Abluft- fläche	Stallhöhe am First	Zu- und Abluft- fläche	Zu- und Ab- luftfläche
[m]	[m ² /Kuh]	[m ² /GV]		[m ² /Kuh]	[m ² /GV]
5	0,22	0,180	8	0,17	0,140
6	0,20	0,165	9	0,16	0,135
7	0,18	0,150	10	0,15	0,125

e. Porenlüftung

Porenlüftung ist ein System zur Belüftung von Räumen durch luftdurchlässige flächige Bauteile (Wände, Decke). Durch die Temperaturunterschiede zwischen innen und außen in der kalten Jahreszeit entstehen im ausgebauten Dachraum Kräfte, die zur natürlichen Schwerkraftlüftung genutzt werden können. Ein Abluftschacht verstärkt den Antrieb erheblich. Wird der Raumabschluss der Dachschrägen und/oder Decken aus offenporigen Dämmfilzen (Mineralwolle, Polyesterwolle, organische Dämmwollen, mineralisierte Holzplatten usw.) ausgeführt und innen ohne Dampfbremsen luftdurchlässig verkleidet, kann durch diese Fläche Luft strömen und somit ein Luftwechsel erzeugt werden (Abb. A1.32).

Die Vorteile dieses Belüftungssystems sind: A) Einfaches, leicht durchschaubares Lüftungskonzept, B) für alle Tierarten, alle Aufstallungsformen und alle Temperaturansprüche geeignet, C) Zuluft einbringung durch die Decke führt zu einer sehr gleichmäßigen Temperaturverteilung im Stall, D) als Leichtdeckenvariante kostengünstig, E) keine störenden Luftkanäle und -leitungen im Raum und F) sehr gute Notlüftungseigenschaften.

Die Nachteile sind: A) Einschränkungen bei der Reinigung und Desinfektion, B) unterschiedliche mechanische Belastbarkeit und C) keine Luftbewegung (zur Kühlwirkung im Sommer) im Tierbereich möglich.

In diesem System muss der folgende Punkt beachtet werden: 1) Porendecke darf nur aus Dämmfilz sein, 2) Deckenunterschicht ist für Funktion zweitrangig, 3) mindestens 5 cm Dämmfilz bei mechanischen Anlagen, 4) Verstaubung bei ordnungsgemäßem Betrieb der Anlage kein Problem und 5) Gesamtdecke besser als Teildecken.

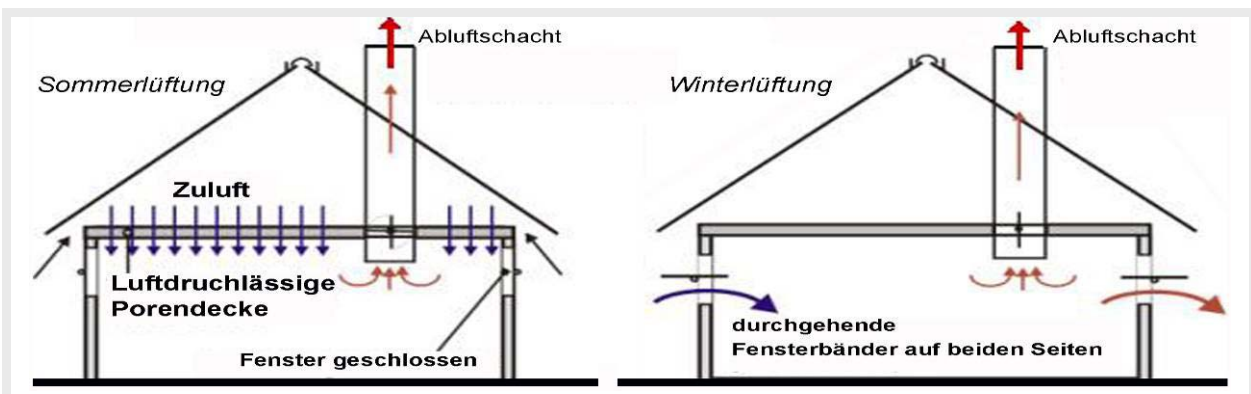


Abb. A1.32: Porenlüftung (HAUSLEITNER, 2002)

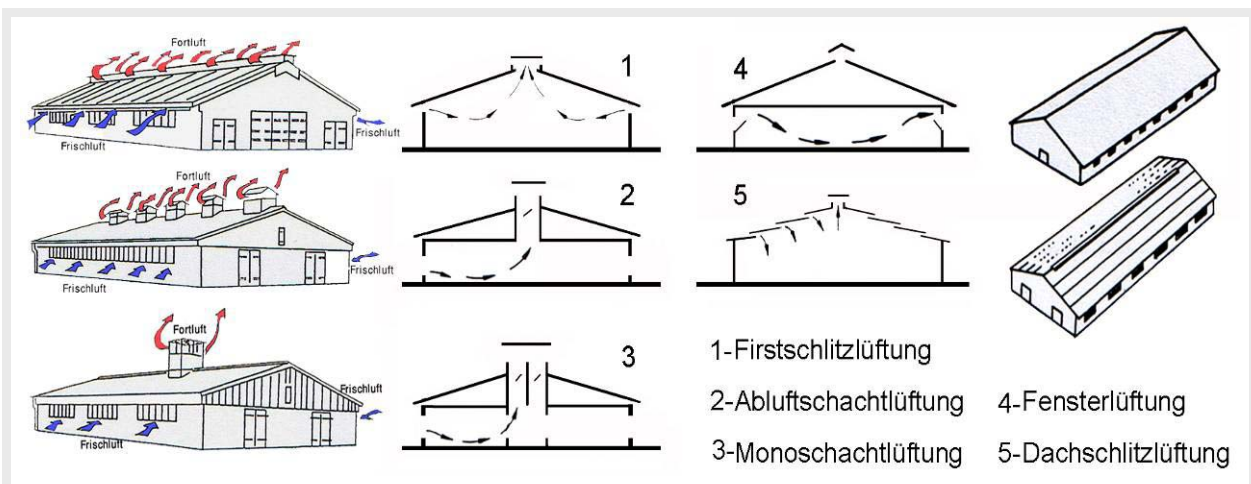


Abb. A1.33: Lösungsmöglichkeiten für freie Lüftung (bearb. n. RICHTER et al., 1992; MÜLLER, 1997)

C. Mechanische Lüftungsvarianten /Unterstützungslüftung

Die Unterstützungslüftung dient einer Erhöhung der Luftwechselrate im Sommer, wenn die Systeme der freien Lüftung nicht oder nicht mehr ausreichend funktionieren.

Ein Ventilator hat die Aufgabe, die benötigte Luftmenge anzusaugen und mit erhöhtem Druck weiterzufördern. Diese Energiezufuhr (Gesamtdruckerhöhung) ist notwendig, weil beim Ansaugen, Fördern und beim Ausblasen der Luft in den Raum bzw. in die Umgebung Energie benö-

tigt wird. Grundsätzlich gilt: Je höher die Geschwindigkeit gewählt wird, mit der eine bestimmte Luftmenge durch Leitungen gefördert und durch Luftdurchlässe tritt, umso mehr Energie wird vom Ventilator benötigt. Das Einsparen von Platz und Material - durch Verminderung der Querschnittsflächen der Luftleitungen usw. - kann nur durch einen Ventilator mit entsprechend höherer elektrischer Leistungsaufnahme ausgeglichen werden.

Die Wirkung eines Ventilators beruht darauf, dass durch die Drehbewegung eines mit Schaufeln versehenen Laufrades ein Luftstrom in Förderrichtung den Ventilator durchströmt (Kirschner, 1972). Als Systeme kommen das Umluftverfahren, das step-by-step-Verfahren, das Strahl-lüftungssystem und das Tunnellüftungssystem zur Anwendung.

a. Umluftverfahren

Beim Umluftverfahren werden bewegliche Ventilatoren an den Stallwänden und im Innern des Gebäudes installiert. Durch die oszillierende Bewegung wird die Luft im Stall verwirbelt, was zu einer Abkühlung an der Haut der Tiere führt (SMUL, 2008).

b. step-by-step-Verfahren

Das step-by-step-Verfahren nutzt sowohl den Saugbereich, als auch den Druckbereich der Ventilatoren für den Lufttransport. Durch eine Reihung mehrerer großer Ventilatoren, meist in Längsrichtung des Stalles angeordnet, wird die Luft Schritt für Schritt durch den Stall transportiert. Durch die Tunnellüftung und das step-by-step-Verfahren ist es im Sommer möglich, die Abluft gerichtet durch die geöffnete Stirnwand aus dem Stall zu transportieren (SMUL, 2008).

c. Strahl-lüftungssystem

Bei Strahl-lüftung wird die gesamte Lufrate durch wenige Öffnungen mit relativ hoher Geschwindigkeit in den Raum geführt. Die gesamte Raumluft wird durch den Impuls in Bewegung versetzt (Luftwalzen). Die Zuluftöffnungen sind in der Regel mit einer freipendelnden Klappe ausgerüstet (DLG, 2004).

d. Tunnellüftung

Bei der Tunnellüftung werden mehrere große Ventilatoren in einer Stirnwand des Stalles installiert. Der gesamte Stall ist bis auf eine definierte Zuluftöffnung in der gegenüberliegenden Stirnwand verschlossen. Die Ventilatoren erzeugen einen Unterdruck im Stall, so dass die Luft den gesamten Stall in Längsrichtung durchströmt. Die Strömungsgeschwindigkeit beträgt dabei bis zu 2,5 m/s (Abb. A1.34) (SMUL, 2008).

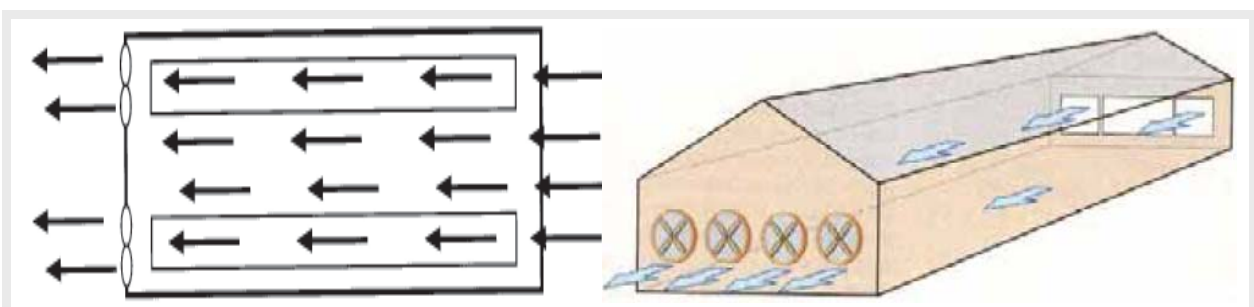


Abb. A1.34: Schematische Darstellung für Tunnellüftungsprinzip (Tob Agrar, 2000 (In. Heidenreich, 2008))

ANHANG

2 Zu den Versuchen

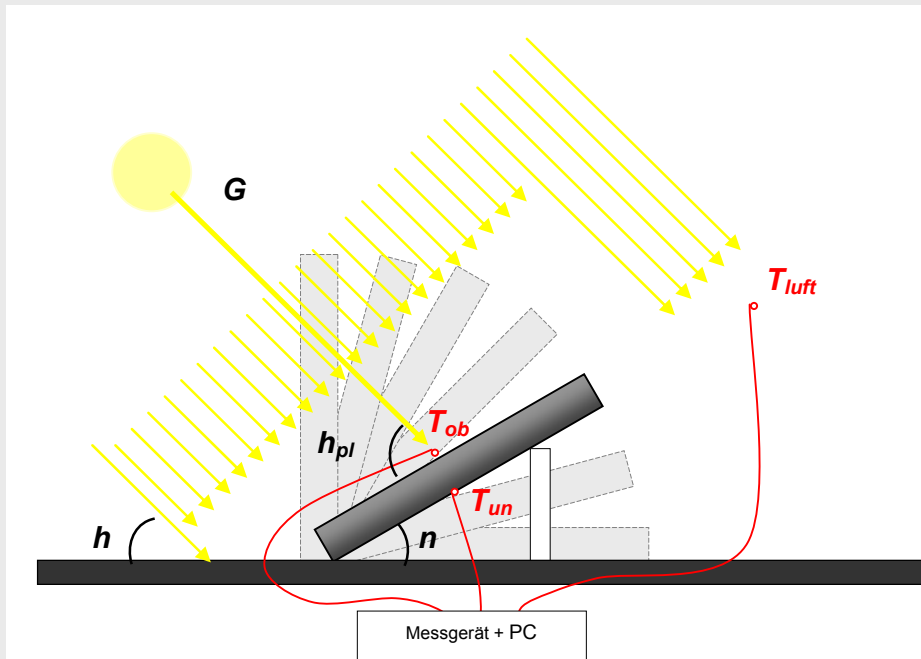
A2.1 Zum Versuch (V_{1A}): Dachneigung**Tab. A2.1:** Zusammengefasste Daten der Neigungswinkel der Betonplatten und Sonneneinstrahlung, Sonnenscheindauer, Globalstrahlung, Außenlufttemperatur und Oberflächentemperaturen der beiden Betonplatten

Quelle:		vorgegeben	Bearb. n. Stadtklima.de	errechnet	Bearb. n. Stadtklima.de	DWD		gemessen										
Nr.	Datum	Neigungswinkel der Betonplatten auf der Horizontal- fläche	Neigungs- winkel der Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche	Winkel der Sonnen- strahlung auf die Betonplatte	Sonnen- schein-dauer	Global-strahlung	Außenluft - temperatur		Oberflächentemperatur der <u>grauen</u> Betonplatten				Oberflächentemperatur der <u>weißen</u> Betonplatten					
									Temp. Oberseite 1	Temp. Unterseite 2	Unter- schied 1-2	Temp. Ober-seite 3	Temp. Unter- seite 4	Unter- schied 3-4				
Zeichnung Einheit		(n) [°]	(h) [°]	(h _{pl}) [°]	[Std.]	(G) [J/cm ²]	zeit [h]	zeit [h]	(T _{luft}) [C°]	(T _{ob-g}) [C°]	(T _{un-g}) [C°]		(T _{ob-w}) [C°]	(T _{un-w}) [C°]				
01/1	22.07.0 4	0°	57°54'		57°54'	5,6	233	14:00	16:30	28,2	37,4		34,9		24,8		25,8	
02/2	23.07.0 4		57°41'		57°41'	12,2	287	12:00	18:15	31,3	36,1	34,4		1,7	29,9		30	-0,1
03/3	24.07.0 4		57°29'		57°29'	9,3	325	13:00	16:15	27,9	37,3		34,5		26,1		25,9	
04/4	25.07.0 4		57°16'		57°16'	2,7	209	12:00	13:00	22,1	30		27		23,2		22,8	
05/5	26.07.0 4		57°02'		57°02'	3,4	129	16:00	19:30	21,9	18,6		19,5		16,6		17,5	
06/6	27.07.0 4		56°49'		56°49'	5,5	218	13:00	18:00	20,5	24,3		23,6		19,9		20,1	
07/1	28.07.0 4	15°	56°35'		71°35'	10,8	288	12:00	16:30	27,7	34,9		31,3		24,6		24,2	

08/2	29.07.0 4		56°21'		71°21'		14,9	307	14:00	17:45	28,9	35,2		33,5		26,6		27	
09/3	30.07.0 4		56°06'		71°06'		13,3	309	14:00	18:15	31,5	35,9		35		28,7		29,4	
10/4	31.07.0 4		55°51'		70°51'		10,5	273	13:00	17:00	31,6	41,2		38,6		2,6	30,3	30,4	-0,1
11/5	01.08.0 4		55°36'		70°36'		12,2	284	13:00	16:30	31,4	39,9		36,8			29,2		28,8
12/1	02.08.0 4	30°	55°21'		85°21'		10,4	265	14:00	18:00	28,8	36,7		35,0			28,5		28,7
13/2	03.08.0 4		55°05'		85°21'		12,9	284	14:00	16:30	31,1	40,9		38,1			30,6		30,3
14/3	04.08.0 4		54°49'		84°21'		12,0	259	15:00	17:15	34	41,5		39,9		1,6	32,3	32,6	-0,3
15/1	05.08.0 4	45°	45°33'		99°33'		13,3	271	15:00	16:30	34,3	45,1		43,1		2,0	34,1	34,1	0,0
16/2	06.08.0 4		54°16'		99°16'		14,3	288	14:00	16:30	32,4	44		42,3			33,0		33,0
17/3	07.08.0 4		53°60'		98°60'		13,7	286	14:00	16:45	33,0	42,4		41,4			32,6		32,9
18/4	08.08.0 4		53°43'		98°43'		14,1	282	14:00	16:15	33,6	43,2		41,2			33,2		33,1
19/5	09.08.0 4		53°25'		98°25'		14,1	280	14:00	16:00	33,6	44,4		42,1			33,8		33,7
20/1	10.08.0 4	60°	53°08'		113°08'		12,5	277	14:00	16:15	34,6	44,2		41,8			34,4		34,2
21/2	11.08.0 4		52°50'		112°50'		2,7	110	15:00	18:15	30,4	31,7		30,6			26,7		27,1
22/3	12.08.0 4		52°32'		112°32'		12,4	283	13:00	16:00	35,8	48,5		45,2		3,3	35,3	34,8	0,5
23/4	13.08.0 4		52°13'		112°13'		5,9	194	17:00	16:30	24,6	30,7		27,9			23,5		23,2
24/5	14.08.0 4		51°55'		111°55'		6,1	184	11:00	16:15	27,6	38,4		35,4			27,7		27,2
25/6	15.08.0 4		51°36'		111°36'		7,2	265	15:00	16:45	27,3	39,0		37,5			28,5		28,6
26/1	16.08.0 4	75°	51°17'		126°17'		6,4	266	12:00	16:00	31,7	34,0		31,1			27,8		27,4
27/2	17.08.0 4		50°58'		125°58'		8,8	255	15:00	16:15	30,2	38,7		37,2		1,5	30,4	30,4	0,0
28/3	18.08.0 4		50°39'		125°39'		6,7	231	15:00	18:30	31,1	32,6		32,7			26,2		27
29/4	19.08.0 4		50°19'		125°19'		7,4	279	13:00	16:45	28,4	32,6		30,7			26,7		26,5

30/5	20.08.0 4		49°59'		124°59'		8,4	208	13:00	14:15	23,5	32,8		29,3		21,7		21,2	
31/6	21.08.0 4		49°39'		124°39'		5,1	235	12:00	14:45	22,7	38,6		33,6		24,7		23,9	
32/7	22.08.0 4		49°19'		124°19'		11,5	252	15:00	18:30	23,6	28,5		29,2		18,7		19,8	
33/7	23.08.0 4	90°	48°59'		138°59'		6,7	144	11:00	17:30	23,1	26,8		25,7		22,4		22,4	
34/7	24.08.0 4		48°38'		138°38'		4,4	142	11:00	14:00	24,2	29,5		29,4		24,9		25,1	
35/7	25.08.0 4		48°18'		138°18'		3,2	156	13:00	18,45	20,7	18,6		18,5		16,9		17,1	
36/7	26.08.0 4		47°57'		137°57'		1,6	117	13:00	15:30	18,9	21		19,6		18		17,9	
37/7	27.08.0 4		47°36'		137°36'		0,4	125	14:00	14:00	17,5	19,5		19,3		16,4		16,8	
38/7	28.08.0 4		47°15'		137°15'		3,1	138	11:00	17:30	20,7	20,8		19,2		17,3		16,9	
39/7	29.08.0 4		46°53'		136°53'		4,1	196	13:00	14:00	23,6	34,7		31,8		25,1		24,3	
40/7	30.08.0 4		46°32'		136°32'		2,1	172	13:00	17:00	19,2	21,5		19		17,1		16,6	
41/7	31.08.0 4		46°10'		136°10'		3,0	188	13:00	13:15	18,2	26,1		23,6		20,3		19,5	
42/7	01.09.0 4		45°48'		135°48'		8,9	241	13:00	16:00	21,9	28,1		26		21,5		20,9	
43/7	02.09.0 4		45°26'		135°26'		12,5	261	14:00	17:00	25,6	35,5		33,3		26		25,6	
44/7	03.09.0 4		45°04'		135°04'		12,7	248	14:00	15:45	31,3	43,8		40,5		3,3	31,5	30,5	1,0
45/7	04.09.0 4		44°42'		134°42'		12,0	234	14:00	17:00	29,9	41,8		39,6		31,1		30,6	
46/7	05.09.0 4		44°20'		134°20'		12,5	248	14:00	16:00	28,9	42,4		38,7		31,2		30,1	
Einheit Zeichnung		[°] (n)	[°] (h)		[°] (h _{pl})		[Std.]	[J/cm ²] (G)	[h] zeit	[h] zeit	[C°] (T _{luft})	[C°] (T _{ob-g})		[C°] (T _{un-g})		[K]	[C°] (T _{ob-w})	[C°] (T _{un-w})	[K]

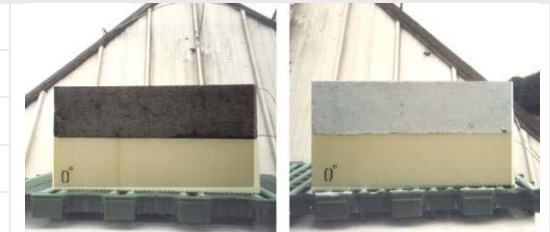
Tab. A2.2: Zeitraum jeder Neigungsphase



Betonplatte		Start		Ende		Dauer	
Nr.	Neigung	Datum	Uhrzeit	Datum	Uhrzeit		
	0°	21.07.2004	16:15	21.07.2004	23:45	Test	
1.	0°	22.07.2004	00:00	28.07.2004	09:00	7 Tage	
2.	15°	28.07.2004	09:15	02.08.2004	09:00	5 Tage	
3.	30°	02.08.2004	09:15	05.08.2004	11:00	3 Tage	
4.	45°	05.08.2004	11:15	10.08.2004	09:00	5 Tage	
5.	60°	10.08.2004	09:15	16.08.2004	09:00	6 Tage	
6.	75°	16.08.2004	09:15	23.08.2004	09:00	7 Tage	
7.	90°	23.08.2004	09:15	05.09.2004	23:45	14 Tage	
	90°	06.08.2004	00:15	06.09.2004	13:15	-	

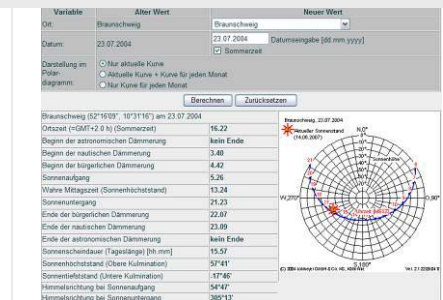
Tab. A2.3: Erste Phase

Phase Nr.	1
Neigung	00 °
Start	22.07.2004 00:00
Ende	27.08.2004 09:00
Dauer	6 Tage

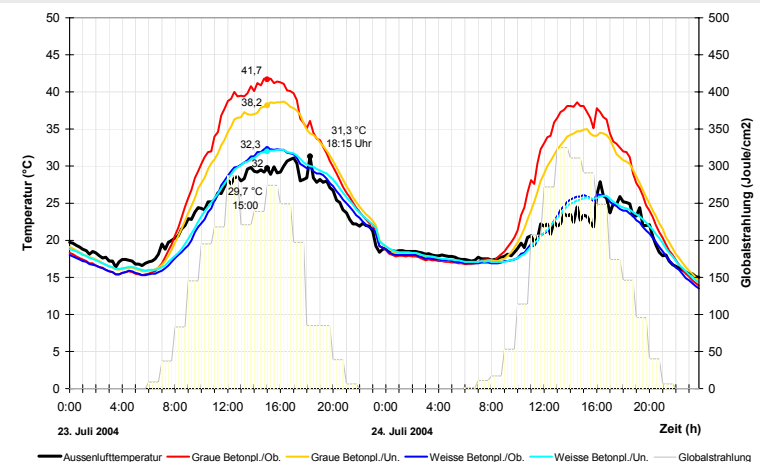


Daten der Sonnenhöhen, Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperaturen:

- 1 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf der Horizontalfläche (h).
- 2 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf Betonplatten (h_{pl}).
- 3 Sonnenscheindauer [std.]
- 4 Maximale Sonneneinstrahlung (G) [Joule/cm²].
- 5 Maximale Außenlufttemperatur (T_{luft}) [°C].



	1: (h) [°]		2: (h_{pl}) [°]		3	4: (G) [Joule/cm ²]		5: (T_{luft}) [°C]	
22.07.04	57°54'	13:24	- 57°54'	5,6	233	14:00	28,2	16:30	
23.07.04	57°41'	13:24	- 57°41'	12,2	287	12:00	31,3	18:15	
24.07.04	57°29'	13:24	- 57°29'	9,3	325	13:00	27,9	16:15	
Quelle	www.Stadtklima.de		errechnet		DWD		gemessen		



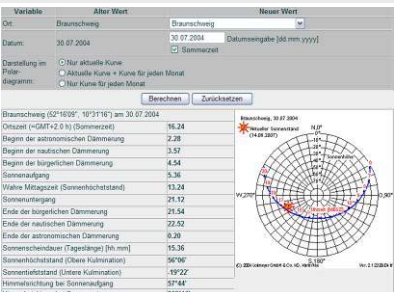
Tab. A2.4: Zweite Phase

Phase Nr.	2
Neigung	15 °
Start	28.08.2004 09:15
Ende	02.08.2004 09:00
Dauer	5 Tage

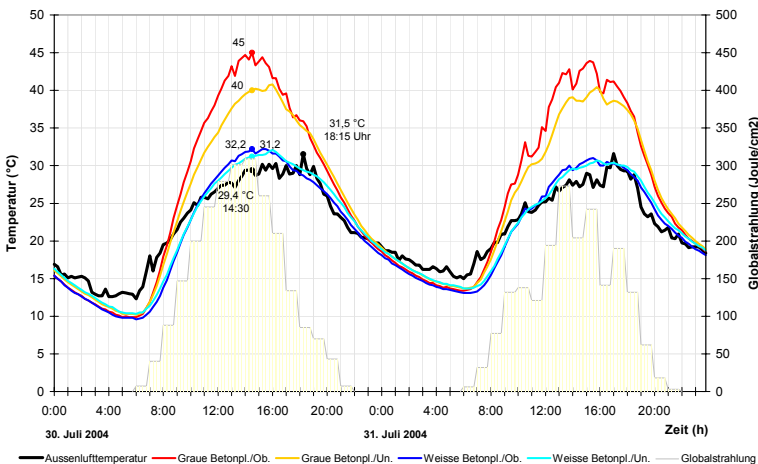


Daten der Sonnenhöhen, Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperaturen:

- 1 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf der Horizontalfäche (h).
- 2 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf Betonplatten (h_{pl}).
- 3 Sonnenscheindauer [std.]
- 4 Maximale Sonneneinstrahlung (G) [Joule/cm²].
- 5 Maximale Außenlufttemperatur (T_{luft}) [°C].



	1: (h) [°]		2: (h_{pl}) [°]	3	4: (G) [Joule/cm ²]		5: (T_{luft}) [°C]	
30.07.04	56°06'	13:24	- 71°06'	13,3	309	14:00	31,5	18:15
31.07.07	55°51'	13:24	- 70°51'	10,5	273	13:00	31,6	17:00
01.08.04	55°36'	13:24	- 70°36'	12,2	284	13:00	31,4	16:30
Quelle	www.Stadtklima.de		errechnet		DWD		gemessen	



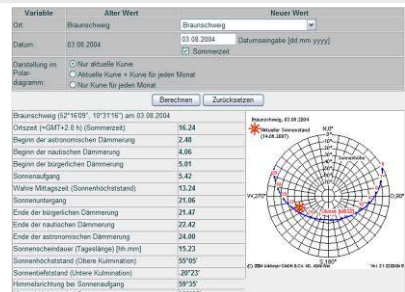
Tab. A2.5: Dritte Phase

Phase Nr.	3
Neigung	30 °
Start	02.08.2004 09:15
Ende	05.08.2004 11:00
Dauer	3 Tage

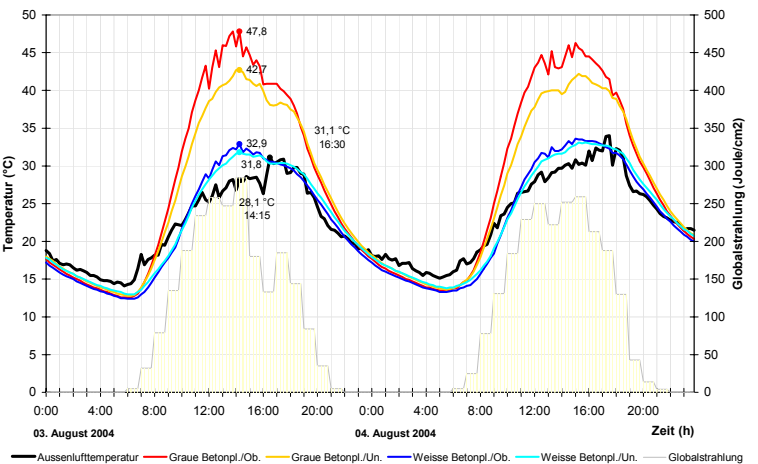


Daten der Sonnenhöhen, Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperaturen:

- 1 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf der Horizontalfäche (h).
- 2 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf Betonplatten (h_{pl}).
- 3 Sonnenscheindauer [std.]
- 4 Maximale Sonneneinstrahlung (G) [Joule/cm²].
- 5 Maximale Außenlufttemperatur (T_{luft}) [°C].



	1: (h) [°]		2: (h_{pl}) [°]	3	4: (G) [Joule/cm ²]		5: (T_{luft}) [°C]	
02.08. 04	55°21'	13:24	- 85°21'	10,4	265	14:00	28,8	18:00
03.08. 04	55°05'	13:24	- 85°21'	12,9	284	14:00	31,1	16:30
04.08. 04	54°49'	14:24	- 84°21'	12,0	259	15:00	34	17:30
Quelle	www.Stadtklima.de		errechnet		DWD		gemessen	



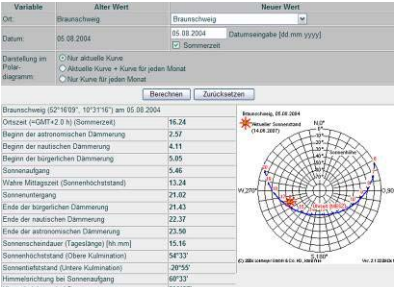
Tab. A2.6: Vierte Phase

Phase Nr.	4
Neigung	45 °
Start	05.08.2004 11:15
Ende	10.08.2004 09:00
Dauer	5 Tage

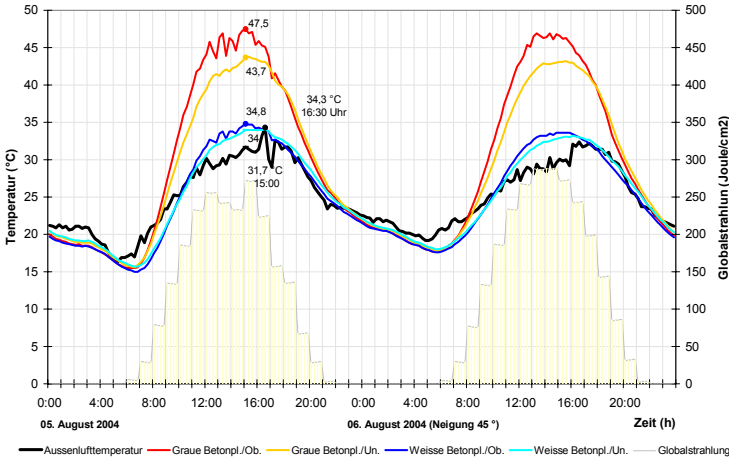


Daten der Sonnenhöhen, Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperaturen:

- 1 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf der Horizontalfäche (h).
- 2 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf Betonplatten (h_{pl}).
- 3 Sonnenscheindauer [std.]
- 4 Maximale Sonneneinstrahlung (G) [Joule/cm²].
- 5 Maximale Außenlufttemperatur (T_{luft}) [°C].



	1: (h) [°]	2: (h_{pl}) [°]	3	4: (G) [Joule/cm ²]	5: (T_{luft}) [°C]
05.08.04	54°33' 13:24	80°67' 13,3	271	15:00	34,3 16:30
06.08.04	54°16' 13:24	80°84' 14,3	288	14:00	32,4 16:30
07.08.04	53°60' 13:24	81°40' 13,7	286	14:00	33,0 16:45
Quelle	www.Stadtklima.de	errechnet	DWD	gemessen	



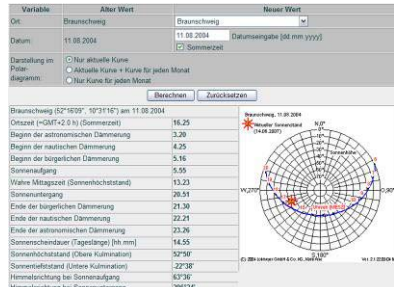
Tab. A2.7: Fünfte Phase

Phase Nr.	5
Neigung	60 °
Start	10.08.2004 09:15
Ende	16.08.2004 08:45
Dauer	6 Tage

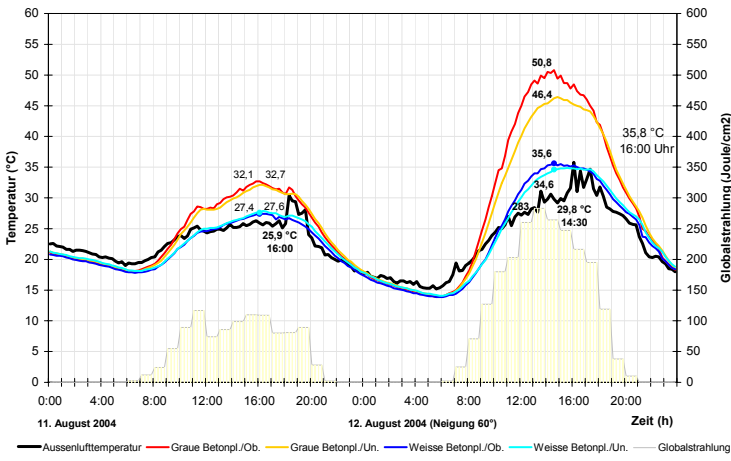


Daten der Sonnenhöhen, Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperaturen:

- 1 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf der Horizontalfäche (h).
- 2 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf Betonplatten (h_{pl}).
- 3 Sonnenscheindauer [std.]
- 4 Maximale Sonneneinstrahlung (G) [Joule/cm²].
- 5 Maximale Außenlufttemperatur (T_{luft}) [°C].



	1: (h) [°]	2: (h_{pl}) [°]	3	4: (G) [Joule/cm ²]	5: (T_{luft}) [°C]
10.08.04	53°08' 13:23	66°92' 12,5	277	14:00	34,6 16:15
11.08.04	52°50' 13:23	67°50' 2,7	110	15:00	30,4 18:15
12.08.04	52°32' 13:23	67°68' 12,4	283	13:00	35,8 16:00
Quelle	www.Stadtklima.de	errechnet	DWD	gemessen	



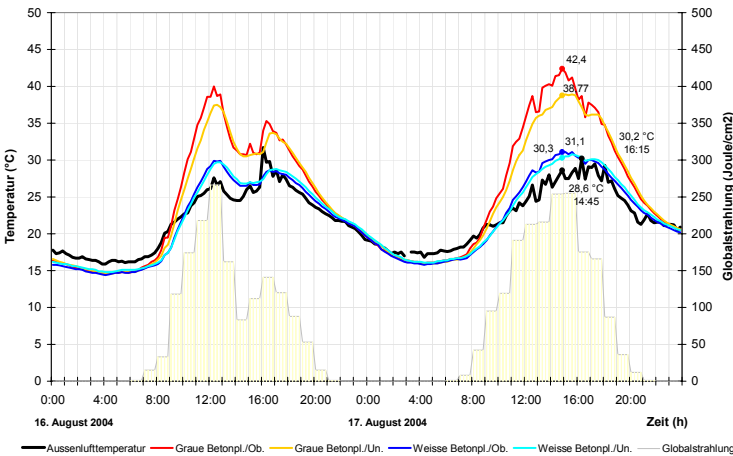
Tab. A2.8: Sechste Phase

Phase Nr.	6	
Neigung	75 °	
Start	16.08.2004 09:00	
Ende	23.08.2004 09:00	
Dauer	7 Tage	


Daten der Sonnenhöhen, Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperaturen:

- 1 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf der Horizontalfäche (h).
- 2 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf Betonplatten (h_{pl}).
- 3 Sonnenscheindauer [std.]
- 4 Maximale Sonneneinstrahlung (G) [Joule/cm²].
- 5 Maximale Außenlufttemperatur (T_{luft}) [°C].

	1: (<i>h</i>) [°]		2: (<i>h_{pl}</i>) [°]		3	4: (<i>G</i>) [Joule/cm ²]		5: (<i>T_{luft}</i>) [°C]	
16.08.04	51°17'	13:22	53°83'	6,4	266	12:00	31,7	16:00	
17.08.04	50°58'	13:22	54°42'	8,8	255	15:00	30,2	16:15	
18.08.04	50°39'	13:22	54°61'	6,7	231	15:00	31,1	18:30	
Quelle	www.Stadtklima.de		errechnet		DWD		gemessen		



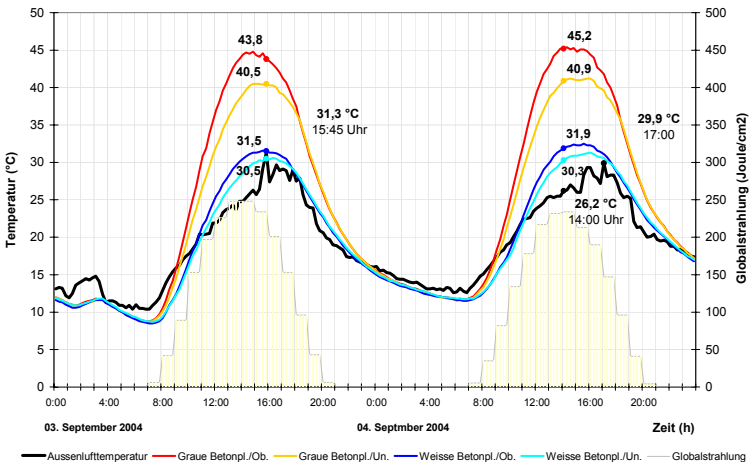
Tab. A2.9: Siebte Phase

Phase Nr.	7	
Neigung	90 °	
Start	23.08.2004 09:15	
Ende	05.09.2004 23:45	
Dauer	14 Tage	

Daten der Sonnenhöhen, Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperaturen:

- 1 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf der Horizontalfäche (h).
- 2 Neigungswinkel der Sonnenstrahlung auf Betonplatten (h_{pl}).
- 3 Sonnenscheindauer [std.]
- 4 Maximale Sonneneinstrahlung (G) [Joule/cm²].
- 5 Maximale Außenlufttemperatur (T_{luft}) [°C].

	1: (h) [°]		2: (h_{pl}) [°]	3	4: (G) [Joule/cm ²]		5: (T_{luft}) [°C]	
03.09.04	45°04'	13:17	44°96'	12,7	248	14:00	31,3	15:45
04.09.04	44°42'	13:17	45°58'	12,0	234	14:00	29,9	17:00
05.09.04	44°20'	13.16	45°80'	12,5	248	14:00	28,9	16:00
Quelle	www.Stadtklima.de		errechnet		DWD		gemessen	



A2.2 Zum Versuch (V_{1B}): Dachneigung

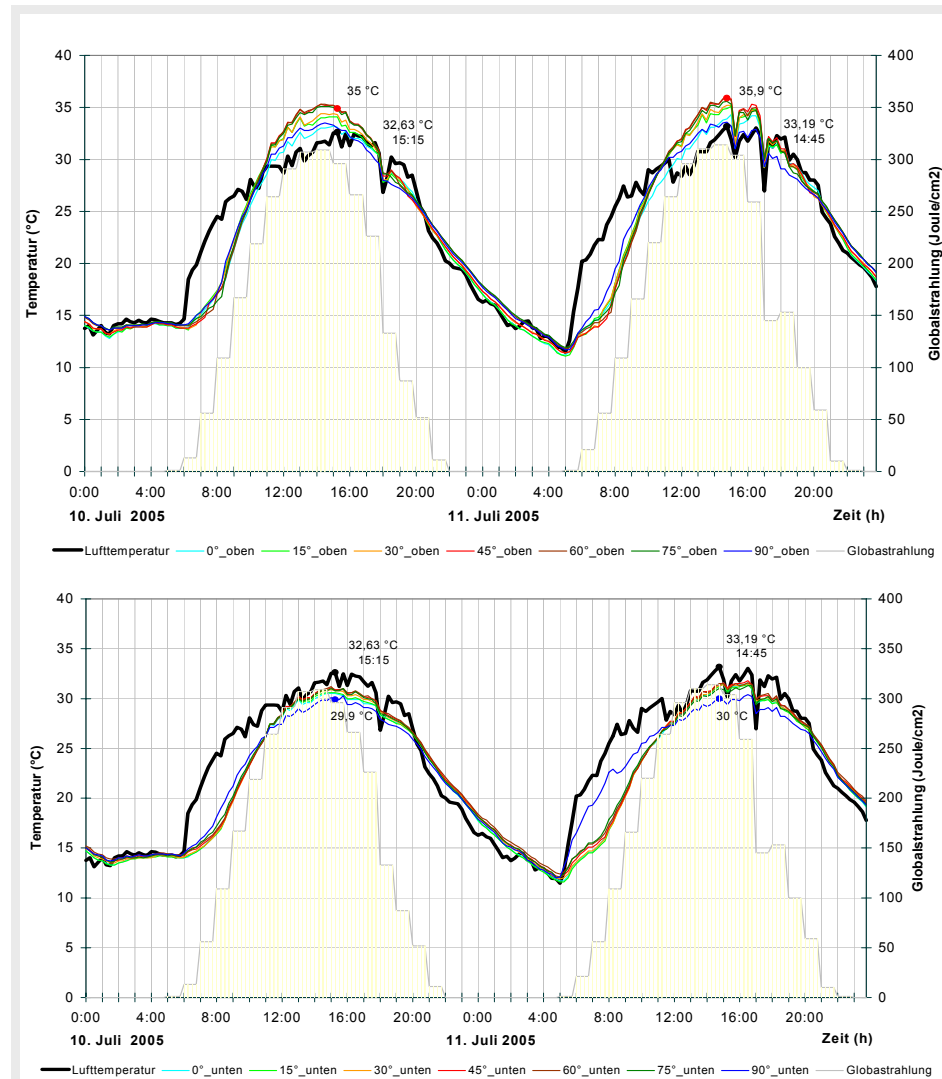


Abb. A2.01: Temperaturmessungen an geneigten und durch Sonnenstrahlung erwärmten Betonplatten der Tage 10. und 11. Juli
oben: Oberseitentemperaturen, unten: Unterseitentemperatur

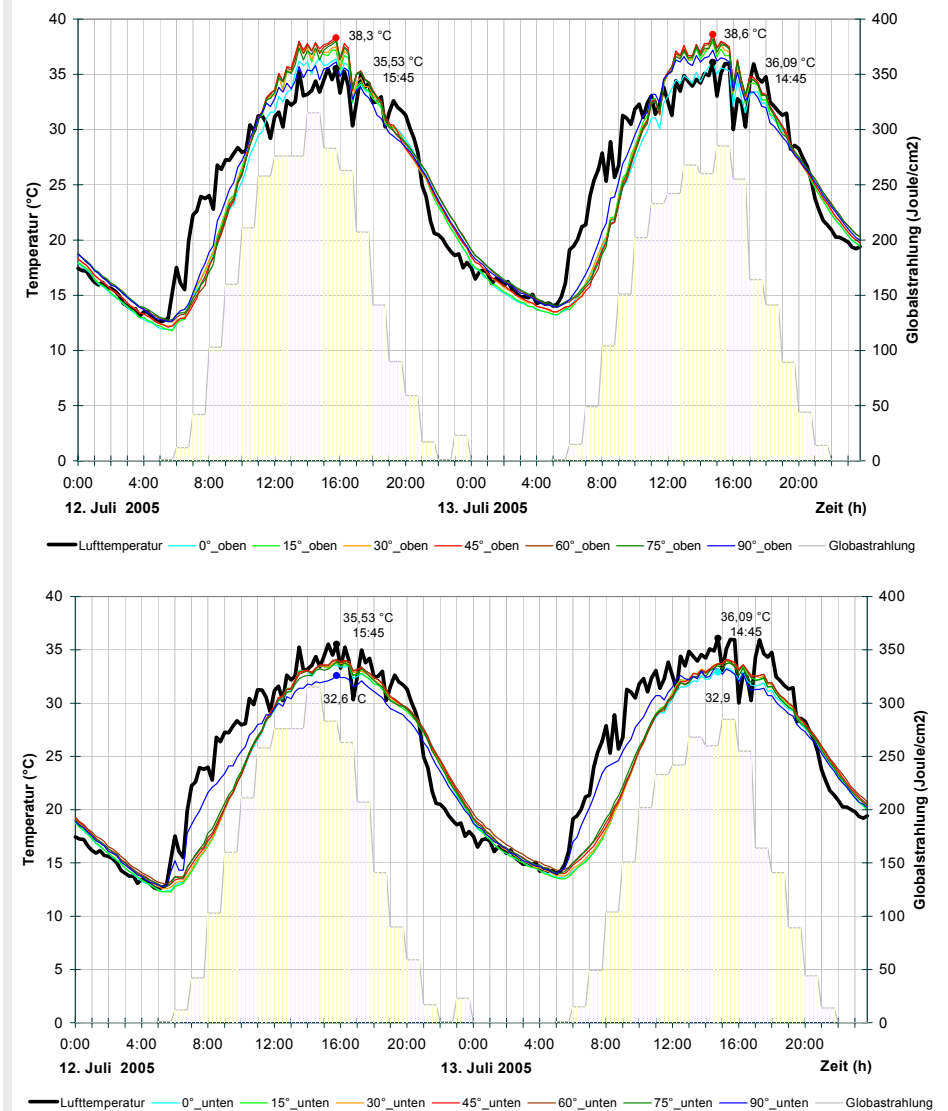


Abb. A2.02: Temperaturmessungen an geneigten und durch Sonnenstrahlung erwärmten Betonplatten der Tage 12. und 13. Juli
oben: Oberseitentemperaturen, unten: Unterseitentemperatur

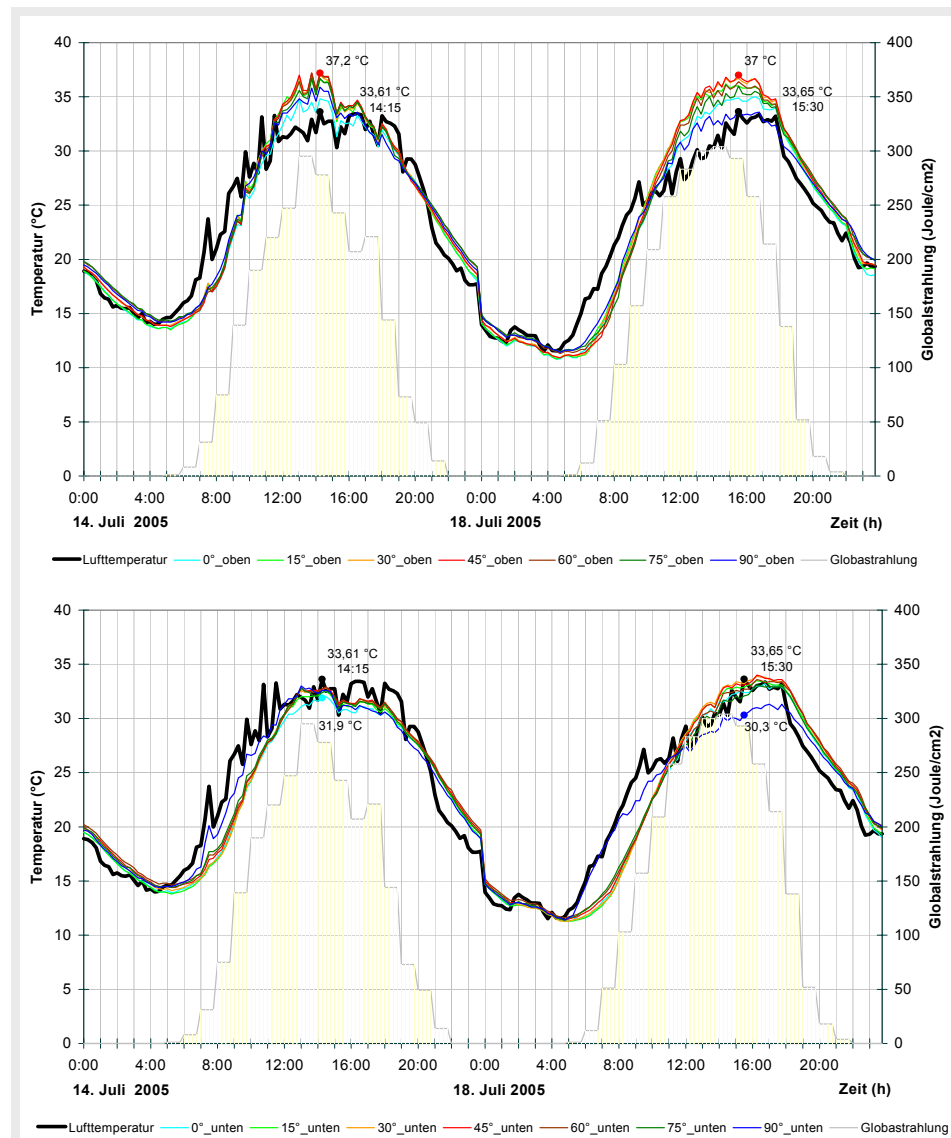


Abb. A2.03: Temperaturmessungen an geneigten und durch Sonnenstrahlung erwärmten Betonplatten der Tag 14. und 18. Juli
oben: Oberseitentemperaturen, unten: Unterseitentemperatur

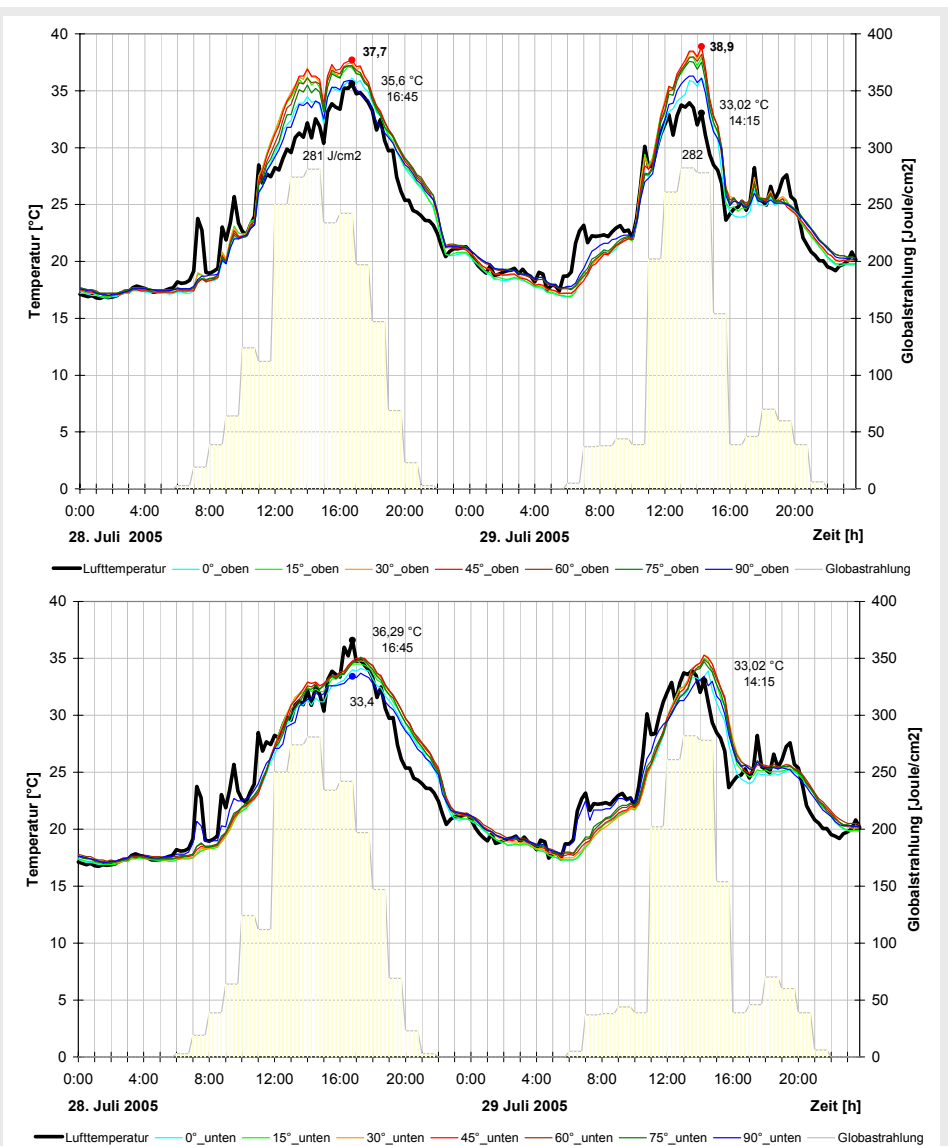


Abb. A2.04: Temperaturmessungen an geneigten und durch Sonnenstrahlung erwärmten Betonplatten der Tag 28. und 29. Juli
oben: Oberseitentemperaturen, unten: Unterseitentemperatur

Tab. A2.10: Aufstellung der Oberflächentemperaturen der Betonplatten von der kältesten (Nr. 1) bis zur wärmsten (Nr. 7) nach der höchsten Lufttemperatur an 8 Tagen, und der max. und min. Temperaturunterschiede zwischen den Luft- und Oberflächentemperaturen

	Datum	Zeit	Sonnen Strahlung	Luft- temp.	Oberseitentemperatur der Betonplatten							Unter- schied*	Unterseitentemperatur der Betonplatten							Unter- schied*
		[h]	[J/cm ²]	[°C]	[°C]							[K]	[°C]							[K]
					0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
1	10.07.05	15:57	296	32,49	32,7 1	33,3 3	33,8 4	34,6 7	34,6 6	34,5 5	32,8 2	0,21 ¹⁾ 2,11 ²⁾	30,3 1	30,4 3	30,7 4	30,9 7	31 6	31 5	30,3 2	-1,59 ³⁾ - 2,19
2	11.07.05	14:57	314	33,19	33,9 2	34,9 3	35,2 4	35,9 7	35,9 6	35,6 5	33,6 1	0,41 2,71	31,2 3	31,2 4	31,3 5	31,4 6	31,5 7	31 2	30 1	-1,69 -3,19
3	12.07.05	15:42	283	35,53	36,4 2	37,2 3	37,5 4	38,3 7	38,2 6	38 5	36,1 1	0,57 2,77	33,5 2	33,7 3	33,8 4	34 6	34,1 7	33,9 5	32,6 1	- 1,43 - 2,93
4	13.07.05	14:17	260	35,08	35,1 1	36,9 3	37,2 5	37,8 7	37,6 6	37,4 4	36,5 2	0,02 2,72	32,3 2	33 4	33,2 6	33,2 7	33,1 5	33 3	32,5 1	- 1,88 - 2,58
5	14.07.05	14:19	278	33,61	34,8 1	36,6 3	37 5	37,2 7	37,1 6	36,7 4	35,9 2	1,19 3,59	31,9 1	32,4 2	32,7 5	32,7 7	32,7 6	32,4 3	32,6 4	-0,91 -1,71
6	18.07.05	15:37	293	33,65	34,9 2	36 3	36,7 6	37 7	36,4 5	36 4	33,8 1	0,15 3,37	32,4 3	32,9 5	33,2 7	33,1 6	32,7 4	32,1 2	30,3 1	- 0,45 - 3,35
7	28.07.05	17:12	197	34,73	35,7 2	36,5 3	36,8 5	37,1 7	36,8 6	36,5 4	35,1 1	0,37 2,37	33,9 2	34,5 3	34,7 5	35 7	34,8 6	34,7 4	33,3 1	0,27 - 1,43
8	29.07.05	13:42	282	33,94	35,9 1	38 5	38,4 6	38,5 7	37,9 4	37,6 3	36,3 2	1,96 4,56	33,3 2	34,1 4	34,1 5	34 7	33,6 6	33,5 3	32,4 1	0,06 -1,54
					1,5 1/2	3,25 3	4,87 5	7 7	5,62 6	4,25 4	1,5 1/2	0,60 - 3,0	2 2	3,5 4	5,12 5	6,62 7	5,87 6	3,37 3	1,5 1	1,0 - 2,4

*) Die Unterschiede zwischen der Lufttemperatur und der Oberflächentemperaturen der Betonplatten

1) Min. Temperaturunterschied z. B. Luft und Oberseite der Neigung 0° oder 90°

2) Max. Temperaturunterschied z. B. mit der Neigung 45°

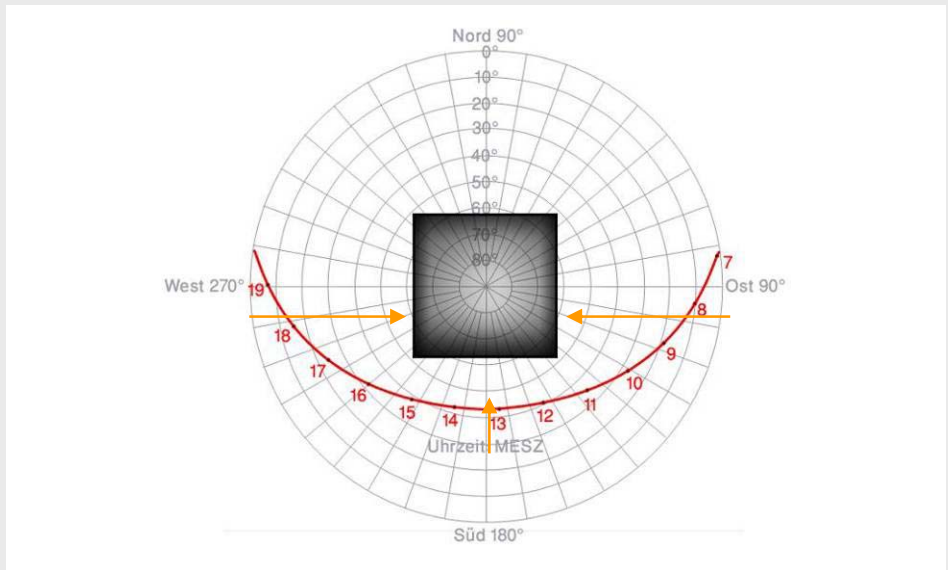
3) Minuszeichen bedeutet, dass Oberflächentemperatur kälter als Lufttemperatur ist.

Tab. A2.11: Aufstellung der Oberflächentemperaturen der Betonplatten von der kältesten (Nr. 1) bis zur wärmsten (Nr. 7) nach der Auswahl der Lufttemperatur während der stärksten Sonnenstrahlung und Sonnenstand (gegen 13-14 Uhr) an 8 Tagen, und er max. und min. Temperaturunterschiede zwischen den Luft- und Oberflächentemperaturen

	Datum	Zeit	Sonnen Strahlung	Luft- temp.	Oberseitentemperatur der Betonplatten							Unter- schied*	Unterseitentemperatur der Betonplatten							Unter- schied *
		[h]	[J/cm²]	[°C]	[°C]							[K]	[°C]							[K]
					0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
1	10.07.05	14:00	309	31,77	33 1	34 3	34,4 4	35,2 6	35,3 7	35,1 5	33,5 2	1,23 ¹⁾ 3,43 ²⁾	30,4 2	30,5 3	30,8 4	30,9 7	30,9 6	30,9 5	29,9 1	- 0,87 ³⁾ - 1,87
2	11.07.05	14:00	314	33,19	33,9 2	34,9 3	35,2 4	35,9 7	35,9 6	35,6 5	33,6 1	0,41 2,71	31,2 3	31,2 4	31,3 5	31,4 6	31,5 7	31 2	30 1	- 1,69 - 3,19
3	12.07.05	14:00	315	34,38	36 2	37,1 3	37,3 4	37,9 7	37,8 6	37,4 5	35,8 1	1,42 3,52	33,1 2	33,2 3	33,2 5	33,3 7	33,3 6	33,1 4	32 1	- 1,08 - 2,38
4	13.07.05	15:30	285	35,1	35,6 1	37,3 3	37,6 5	38 7	37,9 6	37,7 4	36,5 2	0,5 2,9	33,3 2	34 4	34,1 6	34,1 7	34 5	33,7 3	33,2 1	- 1 -1,9
5	14.07.05	14:00	295	32,93	34,5 1	36,7 3	37 5	37,2 7	37,2 6	36,7 4	35,8 2	1,57 4,27	31,7 1	32,1 2	32,5 6	32,6 7	32,4 5	32,1 3	32,5 4	- 0,33 -1,23
6	18.07.05	14:00	304	32,59	34,7 2	36,2 5	36,7 6	36,8 7	36,1 4	35,3 3	33,4 1	0,81 4,21	32,2 3	32,7 5	33 7	32,8 6	32,4 4	31,6 2	30,1 1	0,41 - 2,49
7	28.07.05	14:00	281	32,54	34,1 1	35,8 4	36,2 6	36,3 7	35,8 5	35,2 3	34,1 2	1,56 3,76	31,5 1	32,3 3	32,9 6	32,9 7	32,8 5	32,6 4	32 2	0,36 - 1,04
8	29.07.05	13:45	282	33,94	35,9 1	38 5	38,4 6	38,5 7	37,9 4	37,6 3	36,3 2	1,96 4,56	33,3 2	34,1 4	34,1 5	34 7	33,6 6	33,5 3	32,4 1	- 0,06 -1,54
					1,37	3,62	5	6,87	5,5	4	1,6	1,2	2	3,5	5,5	6,75	5,5	3,25	1,5	0,7
					1	3	5	7	6	4	2	- 3,8	2	4	5/6	7	5/6	3	1	- 2

A2.3 Zum Versuch (V₂): Wärmedurchgang

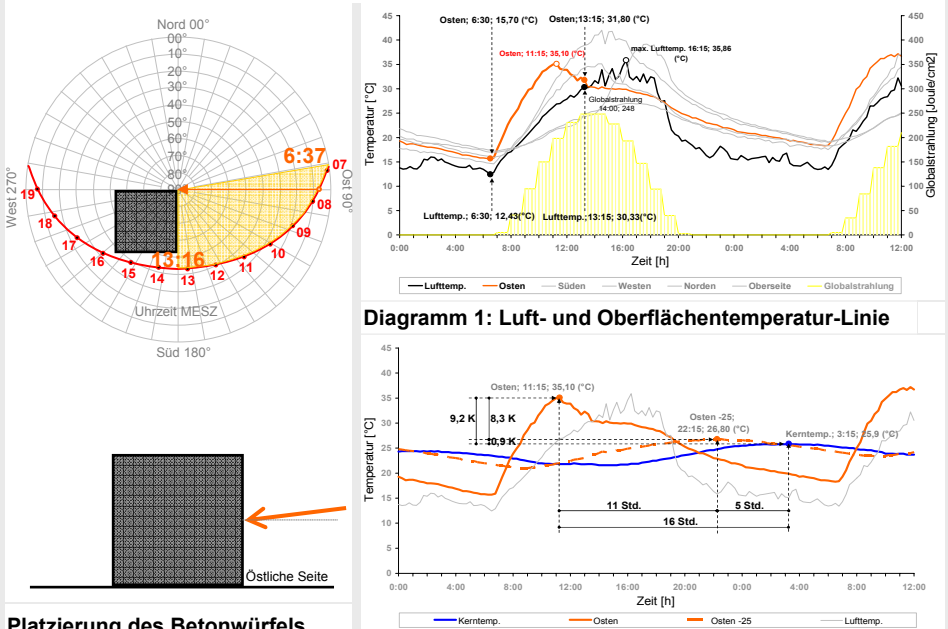
Tab. A2.12: Hauptversuchsergebnisse für alle Außenflächen und den Kern des Betonwürfels



	Betonwürfel-Seite: ►	Ost	Süd	West	Nord	Oben
1	Sonnenscheindauer [Std.]	≈ 6,4	≈ 11,2	≈ 6,4	≈ 2	≈ 13,2
	Zeitraum [h]	6:37-13:16	7:40-19:00	13:16-19:56	6:37-7:40 19:00-19:56	6:37-19:56
2	Vertikale Sonnenhöhe [°]	7°	44°14'	7°	-	44°14'
	Uhrzeit [h]	7:40	13:16	19:00	-	13:16
3	Max. Globalstrahlung [J/cm ²]	284	248	248	40	248
	Uhrzeit [h]	13:15	13:15	13:15	19:00	13:15
4	Max. Lufttemperatur f. Seite [°C]	30,3	35,9	35,9	24,5	35,9
	Uhrzeit [h]	13:15	16:15	16:15	19:15	16:15
5	Max. Oberflächentemperatur [°C]	35,1	42,00	39,1	27,0	35,1
	Uhrzeit [h]	11:15	14:30	17:45	16:15	14:30
6	Max. Kerntemperatur -50 cm [°C]	25,9				
7	Max. Kerntemperatur -50 cm [°C]	25,9				
8	Uhrzeit [h]	3:15 nächster Tag 07.09.05				
9	Temp.-Unterschied zw. 5 u. 7 [K]	9,2	16,1	13,2	1,1	9,2
10	Zeitverschiebung zw. 6 u. 8 [Std.]	16	12,45	9,3	10	12,45

Quelle: A: gemessene Temperatur; B: Daten von DWD; C: von www.Sonnenstand.de; D: gerechnet.

Tab. A2.13: Östliche Seite



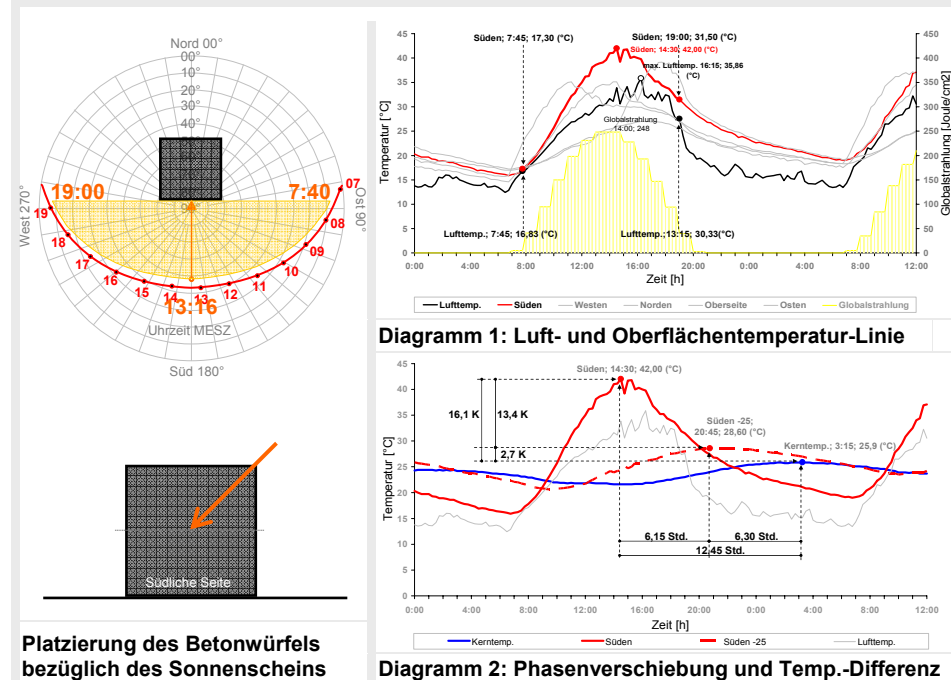
Platzierung des Betonwürfels bezüglich des Sonnenscheins

Diagramm 2: Phasenverschiebung und Temp.-Differenz

Eigene Versuchsergebnisse für östliche Seite des Betonwürfels am 06.09.2005

	Sonnenschein: ►		Anfang	Vertikal	Ende	Qu.
1	Uhrzeit	[h]	6:37	7:40	13:16	C
2	Azimet	[°]	78°14'	90	180	C
3	Altitude [Sonnenhöhe)	[°]	0	7	44°14'	C
4	Globalstrahlung	[J/cm ²]	0	5	248	B
5	Lufttemperatur	[°C]	12,4	16,8	30,3	A
6	Oberflächentemperatur	[°C]	15,7	22,6	31,8	A
7	Temperatur -25 cm	[°C]	21,8	21,3	23,4	A
8	Kerntemperatur	[°C]	23,5	23,1	21,8	A
9	Max. Oberflächentemperatur	[°C]	35,1 [11:15)			A
10	Max. Temperatur nach -25 cm	[°C]	26,8 [22:15)			A
11	Max. Kerntemperatur	[°C]	25,9 (3:15, am 07.09.05)			A
12	Phasenverschiebung zwischen 9 u.10	[Std.]	11			D
13	Phasenverschiebung zwischen 10 u.11	[Std.]	5			D
14	Phasenverschiebung zwischen 9 u.11	[Std.]	16			D

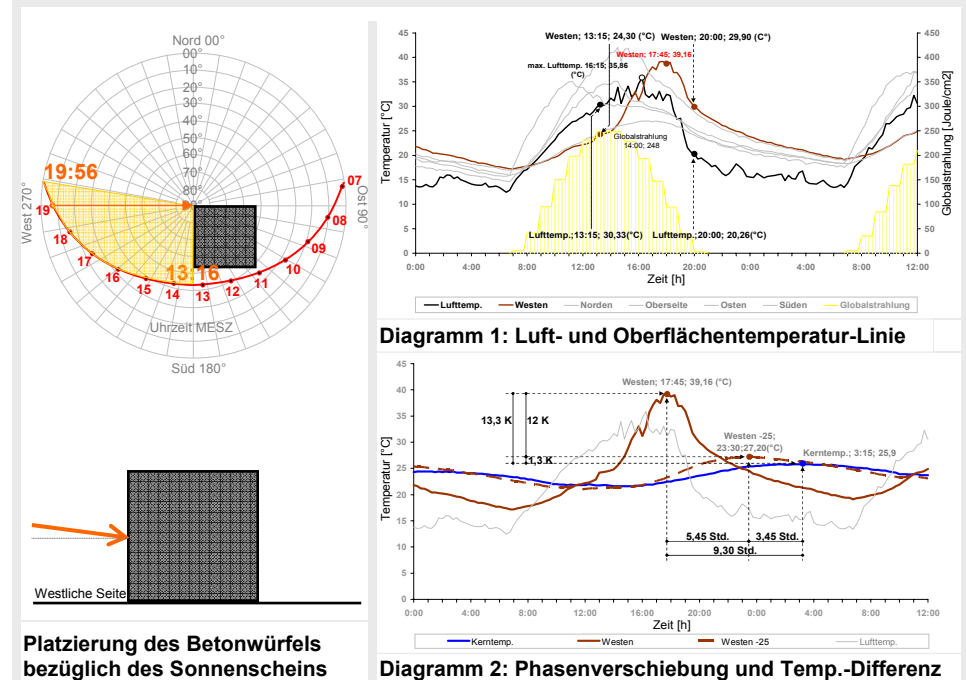
Tab. A2.14: Südliche Seite



Eigene Versuchsergebnisse für südliche Seite des Betonwürfels am 06.09.2005

	Sonnenschein: ►	Anfang	Vertikal	Ende	Qu.
1 Uhrzeit	[h]	7:40	13:15	19:00	C
2 Azimut	[°]	90	18	270	C
3 Altitude (Sonnenhöhe)	[°]	7	44°4'	7	C
4 Globalstrahlung	[J/cm ²]	5	248	40	B
5 Lufttemperatur	[°C]	16,8	30,3	27,6	A
6 Oberflächentemperatur	[°C]	17,3	38,9	31,5	A
7 Temperatur -25 cm	[°C]	21,6	23,4	28,0	A
8 Kerntemperatur	[°C]	23,1	21,8	23,0	A
9 Max. Oberflächentemperatur	[°C]		42 (14:30)		A
10 Max. Temperatur nach -25 cm	[°C]		28,6 (20:45)		A
11 Max. Kerntemperatur	[°C]		25,9 (3:15, am 07.09.05)		A
12 Phasenverschiebung zwischen 9 u.10	[Std.]		6,15		D
13 Phasenverschiebung zwischen 10 u.11	[Std.]		6,30		D
14 Phasenverschiebung zwischen 9 u.11	[Std.]		12,45		D

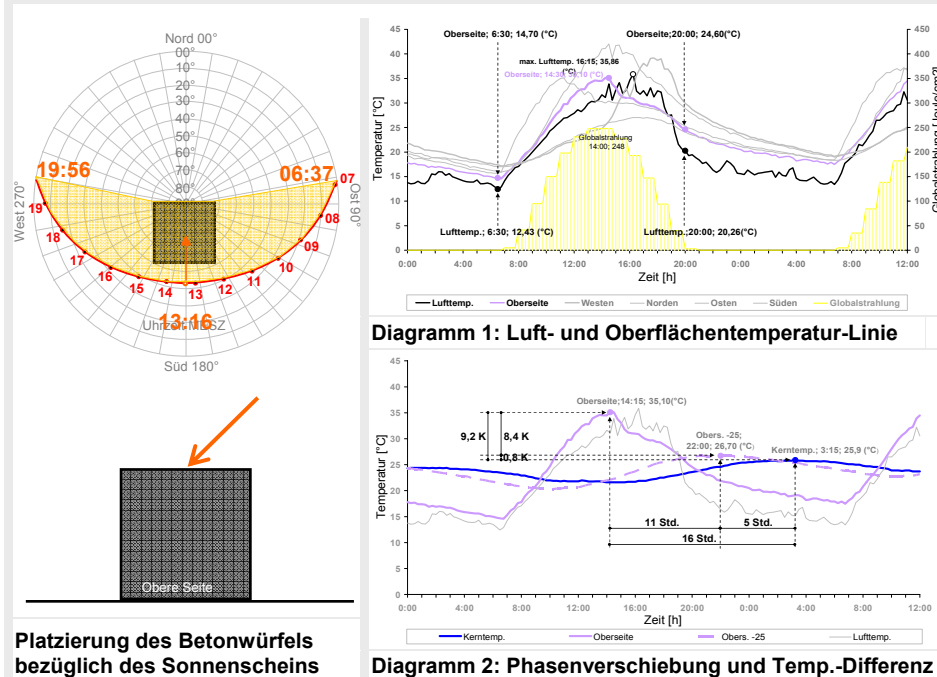
Tab. A2.15: Westliche Seite



Eigene Versuchsergebnisse für westliche Seite des Betonwürfels am 06.09.2005

	Sonnenschein: ►	Anfang	Vertikal	Ende	Qu.
1 Uhrzeit	[h]	13:15	19:00	19:56	C
2 Azimut	[°]	180	270	0	C
3 Altitude (Sonnenhöhe)	[°]	44°14'	7	281	C
4 Globalstrahlung	[J/cm ²]	248	40	3	B
5 Lufttemperatur	[°C]	30,3	27,6	20,2	A
6 Oberflächentemperatur	[°C]	24,3	35,9	29,9	A
7 Temperatur -25 cm	[°C]	21,4	24,7	25,6	A
8 Kerntemperatur	[°C]	21,8	27,6	23,6	A
9 Max. Oberflächentemperatur	[°C]		39,2 (17:45)		A
10 Max. Temperatur nach -25 cm	[°C]		27,2 (23:30)		A
11 Max. Kerntemperatur	[°C]		25,9 (3:15, am 07.09.05)		A
12 Phasenverschiebung zwischen 9 u.10	[Std.]		5,45		D
13 Phasenverschiebung zwischen 10 u.11	[Std.]		3,45		D
14 Phasenverschiebung zwischen 9 u.11	[Std.]		9,30		D

Tab. A2.16: Obere Seite

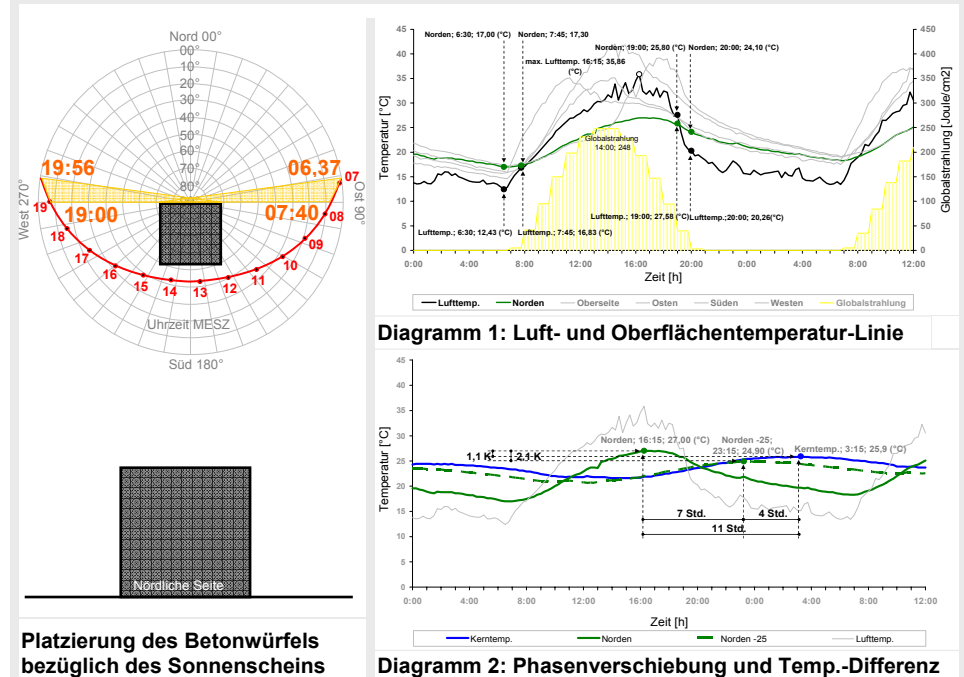


Platzierung des Betonwürfels
bezüglich des Sonnenscheins

Tabelle: Eigene Versuchsergebnisse für obere Seite des Betonwürfels am 06.09.2005

	Sonnenschein: ►	Anfang	Vertikal	Ende	Qu.
1 Uhrzeit	[h]	6:37	13:16	19:56	C
2 Azimut	[°]	78,4	180	281,86	C
3 Altitude (Sonnenhöhe)	[°]	0	44°14'	0	C
4 Globalstrahlung	[J/cm²]	0	248	40	B
5 Lufttemperatur	[°C]	12,4	30,3	27,6	A
6 Oberflächentemperatur	[°C]	14,7	34,3	27,0	A
7 Temperatur -25 cm	[°C]	21,5	21,5	26,10	A
8 Kerntemperatur	[°C]	23,5	21,8	23	A
9 Max. Oberflächentemperatur	[°C]		35,1 (14:15)		A
10 Max. Temperatur nach -25 cm	[°C]		26,7 (22:00)		A
11 Max. Kerntemperatur	[°C]		25,9 (3:15, am 07.09.05)		A
12 Phasenverschiebung zwischen 9 u.10	[Std.]		11		D
13 Phasenverschiebung zwischen 10 u.11	[Std.]		5		D
14 Phasenverschiebung zwischen 9 u.11	[Std.]		16		D

Tab. A2.17: Nördliche Seite



Platzierung des Betonwürfels
bezüglich des Sonnenscheins

Tabelle: Eigene Versuchsergebnisse für nördliche Seite des Betonwürfels am 06.09.2005

	Sonnenschein: ►	Anfang	Vertikal	Ende	Qu.
1 Uhrzeit	[h]	06:37-7:40 und 19:00-19:56			C
2 Azimut	[°]	0			C
3 Altitude (Sonnenhöhe)	[°]	0			C
4 Globalstrahlung	[J/cm²]	06:30: 0, 20:00: 3			B
5 Lufttemperatur	[°C]	06:30: 12,4°C; 20:00: 20,3°C			A
6 Oberflächentemperatur	[°C]	06:30: 17°C; 20:00: 24,1°C			A
7 Temperatur -25 cm	[°C]	06:30: 21,9°C; 20:00: 23,9°C			A
8 Kerntemperatur	[°C]	06:30: 23,5°C; 20:00: 23,6°C			A
9 Max. Oberflächentemperatur	[°C]	27 (16:15)			A
10 Max. Temperatur nach -25 cm	[°C]	24,9 (23:15)			A
11 Max. Kerntemperatur	[°C]	25,9 (3:15, am 07.09.05)			A
12 Phasenverschiebung zwischen 9 u.10	[Std.]	7			D
13 Phasenverschiebung zwischen 10 u.11	[Std.]	4			D
14 Phasenverschiebung zwischen 9 u.11	[Std.]	11			D

A2.4 Zum Versuch (V₃): Temperaturspeicherung

Tab. A2.18: Maximale und minimale Temperaturen sowie Zeitverschiebung für die Versuchsproben

		September				Oktober				Januar			
		T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	ΔT * / Δt (ZV) **		T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	ΔT * / Δt (ZV) **		T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	ΔT * / Δt (ZV) **	
				[K]				[K]				[K]	
Lufttemperatur	Temp. [°C]	39,3 ⁽¹⁾	14,3 ⁽²⁾	25,0	0	26,6	11,8	14,8	0	10,8	2,3	8,5	0
	Zeit [h]	16:00 ⁽³⁾	4:00	12' 00"	0	16:00	4:00	12' 00"	0	16:00	4:00	12' 00"	0
Massivlehm	Temp. [°C]	36,3	16,6	19,7 *	7	24,2	14,1	10,1 *	6	10,9	4,5	6,4 *	6
	Zeit [h]	19,20 ⁽⁴⁾	7:15	3' 20" **	(5)	18:25	7:25	2' 25" **	(5)	19:25	7:55	3' 25" **	(5)
Strohlehm	Temp. [°C]	35,1	17,1	18,0	3	23,7	14,4	9,3	3	10,7	4,7	6,0	3
	Zeit [h]	20:00	8:10	4' 00"	(3)	19:10	8:00	3' 10"	(3)	20:40	8:45	4' 40"	(3)
Ziegel	Temp. [°C]	35,3	16,9	18,4	4	23,6	14,2	9,4	4	10,5	4,5	6,0	4
	Zeit [h]	20:00	7:50	4' 00"	(4)	19:00	8:30	3' 00"	(4)	20:40	8:50	4' 40"	(4)
Holz	Temp. [°C]	31,9	18,6	13,3	2	22,1	15,2	6,9	2	10,2	5,5	4,7	2
	Zeit [h]	21:40	9:15	5' 40"	(2)	20:35	9:05	4' 35"	(2)	21:05	10:25	5' 05"	(2)
Beton	Temp. [°C]	35,6	16,9	18,7	5	24,2	14,3	9,9	5	10,9	4,7	6,2	5
	Zeit [h]	18:50	6:55	2' 50"	(6)	18:20	6:10	2' 20"	(6)	18:40	6:50	2' 40"	(6)
Stroh	Temp. [°C]	34,5	15,7	18,8	6	24,2	12,9	11,3	7	11,8	4,5	7,3	8
	Zeit [h]	16:15	4:20	0' 15"	(8)	16:50	4:30	0' 50"	(8)	17:00	4:40	1' 00"	(8)
Gummi	Temp. [°C]	30,9	20,5	10,4	1	21,7	16,0	5,7	1	9,6	5,7	3,9	1
	Zeit [h]	23:30	11:05	7' 30"	(1)	23:00	11:10	7' 00"	(1)	23:25	11:40	7' 25"	(1)
Polystyrol	Temp. [°C]	36,9	15,5	21,4	8	24,9	13,2	11,7	8	11,1	4,2	6,9	7
	Zeit [h]	18:10	5:25	2' 10"	(7)	17:25	5:30	1' 25"	(7)	18:00	5:55	2' 00"	(7)

*) ΔT = T_{max} – T_{min} (1 - 2) ; **) Δt (ZV) = 4 - 3

Tab. A2.19: Berechnung der Auskühlkennzeit für die Versuchsproben (V3) (nach der Gleichung F A3.12)

	d	ρ	c	U	$1/a_i$	λ	W	U	z	
	[m]	[kg/m ³]	[KJ/kgK]	[W/m ² K]		[W/mK]	[kJ/m ² K]	[W/m ² K]	[s]	[h]
Massivlehm	0,15	1900	1	2,99	0,04	0,91	104,32	2,99	34889	9,7
Strohlehm	0,15	1100	1	2,26	0,04	0,5	70,85	2,26	31350	8,7
Hochlochziegel	0,15	900	0,92	1,13	0,04	0,3	40,70	1,13	36018	10
Holz	0,15	600	2,1	0,76	0,04	0,13	88,62	0,76	116605	32,4
Beton	0,15	2400	0,96	4,14	0,04	2,1	108,33	4,14	26167	7,3
Stroh	0,15	100	1,26	X_1	0,04	0,058	25,20 X_1	X_1	25200	7
Gummi	0,15	1200	1,4	X_2	0,04	0,16	128,2 X_2	X_2	128210	35,6
Exd. Polystyrol	0,15	40	1,5	X_3	0,04	0,04	17,23 X_3	X_3	17235	4,8

ANHANG

3

Erläuterung einiger bauphysikalische Begriffe

A3.1 Wärmedurchgang

Wärmedurchgang wird die Wärmeübergang von einem Fluid (Fluide sind Gase und Flüssigkeiten) durch eine Wand auf ein anderes Fluid genannt (Abb. A3.01). Er umfasst die Teilbereiche:

- Wärmeübergang von Fluid 1 auf die Wand,
- Wärmeleitung durch die Wand,
- Wärmeübergang von der Wand auf Fluid 2.

Für die Berechnung des Wärmedurchgangs gilt die folgende Gleichung.

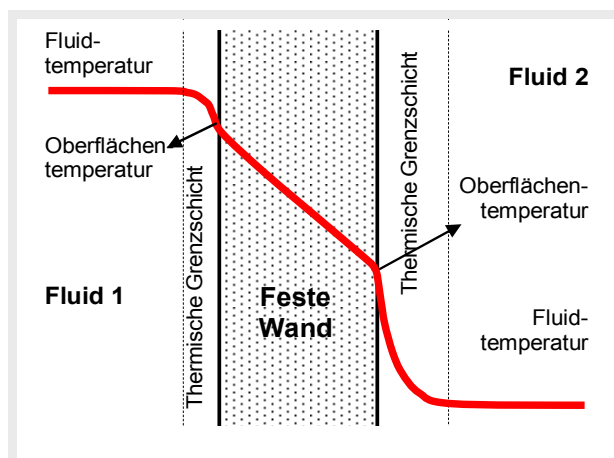


Abb. A3.01: Darstellung des Wärmedurchgangs bei einer ebenen Wand ⁽¹⁾

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (F A3.1) \text{ (RECKNAGEL et al., 2005).}$$

\dot{Q} : Wärmedurchgang [W] A: Fläche [m²]
 U: Wärmedurchgangskoeffizient [W/m² K] ΔT : Temperaturdifferenz [K]

A3.2 Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)

Für eine reale Anordnung muss der Wärmedurchgangskoeffizient (früher k-Wert, heute U-Wert) als Grundlage zur Berechnung und Beschreibung des Wärmedurchgangs verwendet werden. Der Wärmedurchgangskoeffizient ist zahlenmäßig gleich der Wärmemenge in Joule, die im stationären Zustand je Sekunde durch ein 1 m² großes Bauteil übertragen wird, wenn zwischen den beiderseits angrenzenden strömenden Medien ein Temperaturunterschied von 1 K besteht. Die Einheit ist [W/m²K]. Je kleiner der U-Wert ist, desto besser ist die Wärmedämmung und damit die Energieeinsparung. Der Wärmedurchgangskoeffizient wird durch die Formel (F A3.2) berechnet (SCHNEIDER, 2002).

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \dots\dots\dots (F A3.2) \text{ (SCHNEIDER, 2002)}$$

U: Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K] R_i: Wärmeübergangswiderstand auf der Innenseite des Bauteils [m²K/W]
 R: Wärmedurchlasswiderstand [m²K/W] R_a: Wärmeübergangswiderstand auf der Außenseite des Bauteils [m²K/W]

⁽¹⁾ <http://www.wikipedia.de>

A3.3 Wärmedurchlasswiderstand (R)

Der Wärmedurchlasswiderstand (R), auch als Wärmedämmwert bezeichnet, wird als Quotient aus den Schichtdicken des Baustoffes und seinem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit berechnet. Bei geschichteten Wänden setzt sich der gesamte Wärmedämmwert aus den Wärmedurchlasswiderständen der einzelnen Schichten zusammen. Die Einheit ist [m²K/W]. Er wird durch die Formel (F A3.3) berechnet:

$$R = \frac{1}{\Lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots \frac{d_n}{\lambda_n} \dots\dots\dots (F A3.3) \text{ (SCHNEIDER, 2002)}$$

R:	Wärmedurchlasswiderstand	[m ² K/W]	d:	Schichtdicke einer Teilschicht	[m]
1/Λ:	Gesamter- Wärmedurchlasswiderstand einer mehrschichtigen Wand	[m ² K/W]	λ:	Wärmeleitfähigkeit einer Teilschicht	[W/mK]

A3.4 Wärmeübergangskoeffizient (a)

Der Wärmeübergangskoeffizient drückt die Wärmemenge in Ws aus, die pro Sekunde zwischen 1 m² der Oberfläche eines festen Stoffes und der ihn berührenden Luft ausgetauscht wird, wenn der Temperaturunterschied zwischen Luft und Stoffoberfläche 1 K beträgt. Die Einheit ist [W/m²K] ⁽²⁾. Üblicherweise rechnet man mit den für „natürliche Luftbewegung in Innenräumen“ bei Wärmedurchgangsberechnungen festgelegten Wärmeübergangszahlen *a*, nach DIN 4108 (1982) (zu Wand- und Deckenflächen *a*_i = 8 W/m²K, zu Fußboden *a*_i = 6 W/m²K) ⁽³⁾.

A3.5 Wärmeübertragung

Sie ist der gemeinsame Begriff für den Transport von Wärme durch Strahlung, Konvektion und Wärmeleitung (RECKNAGEL et al., 2005).

- A. Strahlung:** Wärmestrahlung (Temperatur- bzw. Infrarotstrahlung) wird von festen Körpern, Flüssigkeiten und auch von einigen Gasen emittiert und absorbiert. Die auf einen Körper auf treffende Strahlung kann absorbiert (Absorptionsgrad *a*) reflektiert (Reflexionsgrad *r*) oder durchgelassen (Durchlassgrad *d*) werden.
- B. Konvektion** (Wärmemitführung): Die Wärme fließt von einem bewegten Medium (Flüssigkeit oder Gas) an einen festen Körper oder umgekehrt, z.B. von Luft an eine Wand. Die Teilchen befinden sich zueinander in Bewegung, und Sie wird durch die Formel (F A3.4) berechnet:

$$\dot{Q} = a_k \cdot A \cdot (T_w - T_f) \dots\dots (F A3.4) \text{ (RECKNAGEL et al., 2005)}$$

\dot{Q} :	Konvektion	[W]	T_w :	Temperatur der Wand (Heizfläche)	[°C]
a_k :	Wärmeübergangskoeffizient	[W/m ² K]	T_f :	Temperatur des Fluids	[°C]
A:	Fläche	[m ²]			

- C. Wärmeleitung:** Die Wärme wird innerhalb eines Körpers von Teilchen zu Teilchen durch intermolekulare Wechselwirkungen weitergeleitet. Die Teilchen befinden sich zueinander in Ruhe. Wärmestrom bzw. Wärmestromdichte ist durch eine ebene, einschichtige Wand zu berechnen (F A3.5).

(2) <http://www.biw.fhd.edu/alumni/2001/waas>

(3) http://www.klausrogel.de/waer_spei.htm

$$\dot{Q} = \frac{\lambda}{s} \cdot A \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots (F A3.5) \text{ (RECKNAGEL et al., 2005)}$$

\dot{Q} : Wärmeleitung [W] S: Schichtdicke [m] ΔT : Temperaturdifferenz [K]
 λ : Wärmeleitfähigkeit [W/mK] A: Fläche [m²]

A3.6 Wärmeleitfähigkeit (λ)

Der Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit wird in Klein-Lambda (λ) angegeben und in [W/mK] gemessen, welche Wärmemenge in einer Stunde durch einen Quadratmeter einer 1 m dicken Baustoffschicht hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied zwischen den beiden Oberflächen 1 K beträgt. Sie ist ein wichtiges Kriterium für die Qualität von Dämmstoffen. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit, desto besser sind die Wärmedämmeigenschaften des Baustoffs. Sind diese λ -Werte kleiner als 0,1 W/mK, so zählen diese Materialien zu den Wärmedämmstoffen (KÖNIG, 1997). Die Wärmeleitfähigkeit wird von der Dichte des Baustoffes und der Feuchtigkeit beeinflusst. Je mehr Poren ein Baustoff hat, desto geringer ist die Wärmeleitfähigkeit, da Luft gut dämmt. Je mehr Feuchtigkeit ein Baustoff hat, desto höher ist die Wärmeleitfähigkeit. Ein Baustoff mit einer geringen Dichte und einer geringen Feuchtigkeit hat also gute Dämmeigenschaften ⁽⁴⁾. Die Tabelle A3.01 zeigt Werte der Wärmeleitfähigkeit für verschiedene Stoffgruppen. Nach DIN 52612 (1984) gilt die Beziehung für die Wärmeleitfähigkeit (F A3.6)

Tab. A3.01: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffgruppen in [W/mK] (RECKNAGEL et al. 2005)

^{*)} nach Int-Infos ⁽⁵⁾; ^{**) nach Int-Infos ⁽⁶⁾}

Stoff	Wärmeleitfähigkeit	Stoff	Wärmeleitfähigkeit
Metalle, rein	10 - 458	Gase	0,01 - 0,2
Legierungen	13 - 113	Flüssigkeiten	0,13 - 0,68
natürliche Steine	1,5 - 3,5	Luft bei 0 °C	0,024
Baustoffe	0,2 - 3,5	Wasser 0 °C	0,57 *
Dämmstoffe, organisch	0,02 - 0,07	Vakuum	0,00 **
Dämmstoffe, anorganisch	0,3 - 0,11	Kohlenstoffnanoröhre	6000 **

$$\lambda = \frac{Q}{t} \cdot \frac{d}{A \cdot \Delta T} \quad \dots\dots\dots (F A3.6) \text{ (DIN 52612)}$$

λ : Wärmeleitfähigkeit [W/mK] t: Zeit [Sec] A: Messfläche [m²]
 Q : Wärmemenge [W] d: Probenkörperdicke [m] ΔT : Temperaturdifferenz [K]

A3.7 Sommerlicher Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz dient dazu, die durch Sonneneinstrahlung verursachte Aufheizung von Räumen, die in der Regel im Wesentlichen auf eine Einstrahlung durch die Fenster zurückzuführen ist, so weit zu begrenzen, dass ein behagliches Raumklima gewährleistet wird. Hierbei soll gemäß den Vorschriften der Energieeinsparverordnung nach Möglichkeit auf den Einsatz von Klimatisierung verzichtet werden. Der sommerliche Wärmeschutz, der ebenfalls in DIN 4108 geregelt ist, wird beeinflusst durch: a) Abmessungen des Raumes, b) Sonneneinstrahlung durch Fenster oder sonstige Verglasungen, c) Sonnenschutzvorrichtungen, d) Wärmespeichervermögen der Innenbauteile (leichte oder schwere Bauart), e) sommerliche Klimaregion, f) Lüftung (vor allem in der zweiten Nachthälfte) und g) interne Wärmequellen (Haushaltsgeräte, Personen, Wärmeabgabe der Tiere im Stall..).

⁽⁴⁾ <http://www.architekturlexikon.de/lexikon/waermeleitfaehigkeit.htm>;

⁽⁵⁾ <http://www.ib-rauch.de>; ⁽⁶⁾ <http://www.wikipedia.de>

Es gibt fünf Gründe für den Wärmeschutz:

- Energieeinsparung,
- Sicherung der thermischen Behaglichkeit,
- Sicherung hygienischer Wohnverhältnisse,
- Verringerung der thermischen Beanspruchung der Bauteile und
- Vermeidung von Bauschäden.

Neben Standort, Umwelteinflüssen und architektonischer Gestaltung spielt die Baustoffwahl beim sommerlichen Wärmeschutz eine wichtige Rolle.

A3.8 Wärmespeicherung der Baumaterialien

Unter der Wärmespeicherung von Bauteilen versteht man deren Eigenschaft, bei Lufttemperaturzunahme infolge Wärmestrahlung Wärmeenergie aufzunehmen und sie bei Lufttemperaturabnahme wieder abzugeben. Die Speicherfähigkeit wird im Wesentlichen durch die Baustoffdicke bestimmt, sie wird also mit steigendem Gewicht größer. Da die Aufnahme und Abgabe von Wärmeenergie in Wechselwirkung zur Umgebungstemperatur erfolgt, wirken wärmespeichernde Baustoffe ausgleichend auf Schwankungen der Raumtemperatur.

Durch Speicherung der in der Übergangszeit (Herbst und Frühling) und im Winter durch die Fensterflächen einfallenden Sonnenenergie senken speicherfähige Innenbauteile die Anlagen- und Betriebskosten der Heizungsanlage. Im Sommer verbessern speicherfähige Bauteile das Raumklima durch Verminderung von Temperaturspitzen und Temperaturschwankungen sowie durch nächtliches Auskühlen der speicherfähigen Massen bei Fensterlüftung.

Der Bau speicherfähiger Innenbauteile (Innenwände und Geschossdecken ohne Wärmedämmschichten) ist unproblematisch. Außenwände dagegen sollen nicht nur speicherfähig sein, sondern vor allem auch wärmedämmend ausgeführt werden. Während die Speicherfähigkeit mit dem Gewicht eines Materials zunimmt, nimmt die Wärmedämmfähigkeit mit dem Gewicht ab.

Einige Baustoffeigenschaften, die mit der Wärmespeicherung und dem sommerlichen Wärmeschutz zusammenhängen, sind:

A. Wärmespeichervermögen (Q_s)

Das Wärmespeichervermögen (auch Wärmespeicherfähigkeit genannt) eines Bauteiles gibt an, wie viel Wärme ein homogener Stoff von 1 m² Oberfläche und der Dicke s bei der Temperaturerhöhung um 1 K speichern kann. Das Wärmespeichervermögen (Q_s) in [J/(m².K)] eines Bauteils ist daher von der spezifischen Wärmekapazität (c), von der Rohdichte des Bauteiles und seiner Schichtdicke (s) abhängig (F A3.7). Hohe Rohdichte und dickere Bauteile können mehr Wärme aufnehmen ⁽⁷⁾.

$$Q_s = d \cdot \rho \cdot c \quad \dots\dots\dots (F A3.7) \quad (8)$$

Q_s : Wärmespeicherfähigkeit	[kJ/m ² K]	ρ : spezifisches Gewicht	[kg/m ³]
d : Schichtdicke	[m]	c : spezifische Wärmekapazität	[kJ/(kg K)]

Die Räume eines Gebäudes erwärmen sich umso geringer, je schwerer die Bauteile sind. Um „schwere“ und „leichte“ Bauart zu unterscheiden, wird raumweise der Quotient aus der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit der raumabschließenden Innenbauteile und der Außenfläche A (einschließlich Fenster) ermittelt. Ist das Ergebnis unter 50 Wh/m²K, liegt „leichte“ Bauweise

vor. Ist es größer als 50 Wh/m²K, aber kleiner als 130 Wh/m²K, wird es als „mittlere“ Bauweise angesehen, bei über 130 Wh/m²K als „schwere“.

Die Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen ist wichtig, um einer übermäßigen Erwärmung oder Auskühlung entgegenzuwirken. Ihr kommt z.B. dann Bedeutung zu, wenn die Innenraumtemperatur nicht mehr konstant gehalten werden kann. Bei geringer Wärmespeicherfähigkeit von raumumschließenden Bauteilen kann die Temperatur der inneren Wandoberfläche bei Heizungsunterbrechung binnen kurzer Zeit stark absinken.

B. Wärmekapazität (C)

Um die Temperatur eines Körpers zu erhöhen, muss seine innere Energie vergrößert werden. Verschiedene Stoffe lassen sich unterschiedlich leicht erwärmen. Um verschiedene Stoffe bezüglich ihrer „Erwärmbarkeit“ vergleichen zu können, untersucht man 1 kg eines Stoffes. Die Wärmekapazität eines Körpers ist definiert durch Formel (F A3.8):

$$C = c \cdot m \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots (F A3.8)^{(9)}$$

C:	Wärmekapazität	[W]	m:	Masse	[kg]
c:	spezifische Wärmekapazität	[J/kgK]	ΔT :	Temperaturdifferenz	[K]

C. Spezifische Wärmekapazität (c)

Die spezifische Wärmekapazität (auch spezifische Wärme genannt) gibt in [J/kgK] an, wie viel Energie 1 kg eines Stoffes bei der Erwärmung um 1 K aufnehmen kann, d. h. welche Wärmemenge erforderlich ist, um die Temperatur eines Kilogramms eines Stoffes um 1 K zu erhöhen. Je höher der Wert, umso mehr Wärme muss zugeführt werden, um die Temperatur des Stoffes zu erhöhen, bzw. umso mehr Energie kann ein Stoff aufnehmen. Bei massiven Baustoffen variiert sie so wenig, dass die Rohdichte eine ausreichende Orientierung für die Wärmespeicherfähigkeit bietet

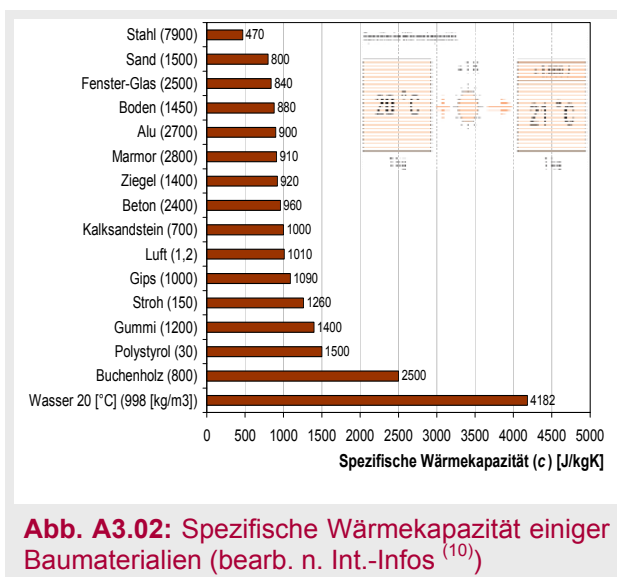


Abb. A3.02: Spezifische Wärmekapazität einiger Baumaterialien (bearb. n. Int.-Infos⁽¹⁰⁾)

(Dicke x Rohdichte = flächenbezogene Masse) (EICHLER und ARNDT, 1989). Je mehr Wärme ein Stoff speichern kann, umso träger reagiert er bei Aufheizung und Abkühlung (sogenannte Amplitudendämpfung). Die Abbildung A3.02 zeigt spezifische Wärmekapazität einiger Baumaterialien zum Vergleich.

D. Wärmespeicherzahl (S)

Baustoffe haben eine unterschiedliche Dichte (ρ) [kg/m³]. Die massenbezogene Kennzahl (c) ist für ein Baustoffvolumen noch nicht aussagefähig. Zur Erfassung der Wärmeaufnahme von Bauteilen dient daher die volumenbezogene Wärmespeicherzahl (S). Für die Berechnung der Wärmespeicherzahl und des Wärmespeichervorgangs gelten die Gleichungen (F A3.9) und (F A3.10).

⁽⁹⁾ <http://www.ebgymhollabrunn.ac.at/ipin/ph-cp.htm>

⁽¹⁰⁾ <http://www.ib-rauch.de>

Aus dem Zusammenhang der volumenbezogenen Speicherzahl (S) mit der Baustoffdichte (ρ) ergibt sich die direkte Abhängigkeit der Speicherfähigkeit vom Gewicht der Baustoffe, d. h. schwere Bauteile können gegenüber leichten grundsätzlich mehr Wärme speichern ⁽¹¹⁾.

$$s = c \cdot \rho \dots\dots\dots (F A3.9) \quad (12)$$

S: Wärmespeicherzahl [Wh/m³K] C: spezifische Wärme [Wh/kgK] P: Rohdichte [kg/m³]

$$Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T \dots\dots\dots (F A3.10) \quad (13)$$

Q : Wärmespeichervorgang [Wh] P: Rohdichte [kg/m³] ΔT : Temperaturdifferenz [K]
 S: Wärmespeicherzahl [Wh/m³K] V: Volumen [m³]

E. Wärmeeindringkoeffizient (b)

Für die Betrachtung Tag/Aufheizung, Nacht/Abkühlung ist eine weitere Größe von Bedeutung, der Wärmeeindringkoeffizient. Das Aufheizen eines Raumes verläuft umso schneller, je kleiner der Wärmeeindringkoeffizient ist. Dieser ist ein Maß dafür, wie „tief“ die Wärme innerhalb einer kurzen Zeit in den Baustoff eindringen bzw. aus diesem austreten kann.

Ein Maß für die Wärmeeindringgeschwindigkeit in das Bauteil gibt die Wärmeeindringzahl b an.

Berührt man eine Stahlplatte und einen Wärmedämmstoff (z.B. Styrodur) mit der bloßen Hand, dann ist die empfundene Temperatur der Stahlplatte viel niedriger als die des Wärmedämmstoffes, auch wenn beide Gegenstände die gleiche Temperatur aufweisen ⁽¹⁴⁾. Der Grund dafür liegt in den unterschiedlichen Wärmeeindringkoeffizienten (b) dieser Stoffe, der durch die Gleichung (F A3.11) definiert ist.

$$b = \sqrt{\lambda_R \cdot \rho \cdot c} \dots\dots\dots (F A3.11) \quad (15)$$

b : Wärmeeindringkoeffizient [J/m² h^{0.5}K] ρ : Dichte [kg/m³]
 λ_R : Wärmeleitfähigkeit [W/mK] c : spezifische Wärmekapazität [J/kg K]

Bei Werten unter 20 kJ/m²Ks^{0.5} wird die Oberfläche des Stoffes sehr schnell warm, weil die Wärme nur langsam nach innen weitergeleitet wird (= sehr günstiges Verhalten für Fußböden und andere raumumschließende Flächen); bei Werten von 20 - 50 erreicht der Stoff eine angenehme Oberflächentemperatur (fußwarm); bei Wärmeeindringkoeffizienten größer 50 wirkt die Oberfläche kalt, da die Wärme schnell ins Innere des Stoffes abfließt, über 150 ist der Wärmeabfluss sehr unangenehm (zum Beispiel Metalle) (KÖNIG, 1997).

Besonders Wärmedämmstoffe und andere Materialien mit einer kleinen Wärmeleitfähigkeit zeichnen sich durch einen kleinen Wärmeeindringkoeffizienten aus. Ein Baustoff mit einem kleinen b -Wert der Wandoberfläche lässt diese Wand bei Berührung als warm empfinden. Es ist deshalb empfehlenswert, im Wohnbereich Schwerbetonwände z. B. mit Sperrholz zu verkleiden. Holz hat trotz seines geringen Gewichtes von nur 1/4 gegenüber Beton durch seine etwa doppelt so hohe spezifische Wärme c die halbe Speicherfähigkeit von Beton. Die Einleitung des Speichervorgangs verläuft jedoch bei Beton erheblich schneller, weil seine größere Wärmeleitfähigkeit (λ) eine wesentlich höhere Wärmeeindringgeschwindigkeit (b) ergibt (Tab. A3.02).

(11) (12) (13) <http://www.klausroggel.de>

(14) <http://www.ib-rauch.de>; (15) <http://www.biw.fhd.edu/alumni/2001/waas>;

Tab. A3.02: Der Unterschied zwischen den bauphysikalischen Eigenschaften von Holz und Beton (bearbeitet nach Int-Infos⁽¹⁶⁾)

	Wärmeleitzahl λ	Rohdichte ρ	spez. Wärmekapazität c	Wärmeeindringzahl $b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$
	[W/mK]	[kg/m ³]	[kJ/kgK]	[kJ/m ² h ^{0,5} K]
Sperrholz	0,15	600	1,9	≈ 13
Schwerbeton	2,10	2400	0,96	≈ 70

F. Auskühlzeit (z) - Wärmedauer

Für ein behagliches Raumklima ist es wichtig, dass die eingebrachte Wärmeenergie möglichst lange im Mauerwerk gespeichert und nur möglichst langsam wieder abgegeben wird. Dieser Vorgang wird durch den Begriff Auskühlzeit definiert ⁽¹⁷⁾. Die Auskühlzeit wird mit (z) gekennzeichnet und berechnet sich in Stunden [h] nach der Gleichungen (F A3.12) (EICHLER und ARNDT, 1989).

$$\text{Auskühlzeit } z : z = W / U \dots\dots\dots[h]$$

$$\text{Wärmespeicherfähigkeit } : W = d \cdot \rho \cdot c \cdot U \cdot \left(\frac{1}{a_i} + \frac{d}{2 \cdot \lambda} \right) \dots\dots\dots[kJ / m^2 K] \dots\dots\dots(F A3.12)$$

$$\text{Wärmedurchgangskoeffizient } : U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \dots\dots\dots[W / m^2 K]$$

z: Auskühlkennzeit [h] U: Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]
W: Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m²K]

Die Auskühlzeit charakterisiert somit das Auskühlverhalten eines Außenbauteiles im Winter bzw. der Aufwärmung im Sommer. Räume werden umso behaglicher beurteilt, je länger ihre Auskühlzeit andauert. In Räumen mit Außenmauern ist sie umso angenehmer, je größer die Auskühlkennzeiten der Außenmauern sind. Werte von mehr als 120 h für (z) gelten als sehr gut. Der untere Grenzwert für Außenmauern von Räumen ist z = 36 h. Bei einer vierschichtigen, außen gedämmten Leichtziegelwand liegt eine Wärmespeicherungszahl von z = 198,41 h. vor. Sie ist also besonders gut als Außenwand eines Raums geeignet ⁽¹⁸⁾.

Bei Innendämmung derselben Wand kommt man mit z = 88,13 h auf eine viel schlechtere Auskühlkennzeit (KUR, 1993). Bei mehrschichtigen Wänden hängt die Auskühlzeit entscheidend von der Lage der Dämmschicht ab. So hemmt eine innenseitige Dämmschicht die Aufladung und Abgabe von Wärme, wohingegen eine schwere Innenschale mit außenseitiger Dämmung eine lange Auskühlzeit ergibt.

Zum Beispiel kühlt ein Blechdach mit 17,5 kg/m² in 4 Sekunden, ein Holzdach mit 18 kg/m² in 93 Minuten und ein Stahlbetondach mit 120 kg/m² in 110 Minuten aus. In einer weiteren Gegenüberstellung wird die Auskühlzeit von HWL-Platten und anderen Dämmstoffen verglichen. Die Holzdämmstoffe zeigen hierbei eine deutliche Überlegenheit (EICHLER und ARNDT, 1989).

A3.9 Temperaturdifferenz und zeitlicher Schwankungsverlauf

Die Wärmeübertragung ist direkt abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Bauteiloberfläche. Diese Temperaturdifferenz wird durch Wärmeaufnahme bzw. -abgabe des Bauteils ausgeglichen, woraus folgt, dass Wärmespeicherung grundsätzlich nur Temperaturschwankungen beeinflussen kann. Die hier zu betrachtenden Temperaturschwankungen aus

(16) <http://www.ib-rauch.de>; (17) http://www.gre-online.de/medienbibliothek/wzi_kleine_bauphysikkunde.pdf

(18) <http://www.ebgymhollabrunn.ac.at/ipin/ph-cp.htm>;

wechselnder äußerer Wärmebelastung, z.B. durch Sonneneinstrahlung, treten mehr oder weniger im Tagesrhythmus von 24 Stunden auf. Durch die zeitliche Begrenzung des Temperaturschwankungsbereichs hängt die Wirksamkeit von wärmespeichernden Bauteilen neben ihrer Speicherefähigkeit auch von der Geschwindigkeit der Wärmeaufnahme ab ⁽¹⁹⁾.

A. Temperatur-Amplitudendämpfung (Θ)

Der Temperaturverlauf der Außenluft während eines Tages ist nicht konstant und schwankt in einem 24-h-Rhythmus. Dies ist besonders in den Sommermonaten zu beobachten, da hier die Unterschiede während einer Tages- und Nachtphase erheblich sein können. Diese Außentemperaturschwankung hat Auswirkungen auf den Temperaturverlauf im Bauteil selbst und im Innern des Gebäudes. Das Verhältnis der Temperaturamplituden auf der äußeren Bauteiloberfläche ($\Delta \vartheta_a$) zu der auf der Innenoberfläche ($\Delta \vartheta_i$) ist die Temperatur-Amplitudendämpfung (Θ : Theta) als dimensionslose Verhältniszahl (F A3.13).

Die Werte für die Temperatur-Amplitudendämpfung sollen möglichst ≥ 4 sein. Bei einschichtigen Konstruktionen steigen sie mit den Werten der Phasenverschiebung an. Bei mehrschichtigen Konstruktionen können sie von den Werten der Phasenverschiebung stark abweichen; sie haben ausschlaggebende Bedeutung.

$$\Theta = \Delta \vartheta_{oa} / \Delta \vartheta_{oi} = \vartheta_{a \max} - \vartheta_{a \min} / \vartheta_{i \max} - \vartheta_{i \min} \dots\dots\dots (F A3.13) \quad (20)$$

$\Delta \vartheta_{oa}$: Temperaturamplitude auf der äußeren [K] Oberseite $\Delta \vartheta_{oi}$: Temperaturamplitude auf der inneren [K] Oberseite

B. Temperatur-Amplituden-Verhältnis (TAV)

Den reziproken Wert der Amplitudendämpfung nennt man das Temperatur-Amplituden-Verhältnis (TAV). Die Amplitude der Temperaturwelle wird während des Durchgangs durch das Bauteil hindurch gedämpft und zeitlich verschoben. Das Verhältnis der maximalen Temperaturschwankung an der inneren zur maximalen Schwankung an der äußeren Oberfläche wird als Temperaturamplitudenverhältnis (F A3.14) bezeichnet.

Das (TAV) eines Bauteils ist dann als gut zu bezeichnen, wenn die Raumtemperaturschwankung geringer ist als die der Außenluft, d.h. je kleiner das (TAV) ist, umso besser ist die Dämpfung durch das Bauteil und umso größer ist die Phasenverschiebung. TAV-Werte sind zwischen 0 und 1 und sollen möglichst $\leq 0,25$ sein ⁽²¹⁾.

$$\nu = \Delta \vartheta_{oi} / \Delta \vartheta_{oa} \dots\dots\dots (F.10.14) \quad (22)$$

$\Delta \vartheta_{oi}$: Temperaturamplitude auf der inneren [K] Oberseite $\Delta \vartheta_{oa}$: Temperaturamplitude auf der äußeren [K] Oberseite

C. Phasenverschiebung (Φ)

Die Phasenverschiebung gibt an, wie lange es dauert, bis die an der Außenseite eines Bauteils gemessene Temperatur dieses Bauteil „durchwandert“ hat und dann auf der Innenseite wirksam wird (Abb. A3.03). Sie wird als Phasenverschiebung Φ (Phi) der Temperaturmaxima und damit der gesamten Temperatur-Amplitude bezeichnet und in Stunden [h] angegeben ⁽²³⁾.

(19)(20) http://www.klausroggel.de/waer_spei.htm; (21) http://www.klausroggel.de/waer_spei.htm;
(22) http://www.uni-essen.de/ibpm/Bauphysik-Interaktiv/tav_1.htm

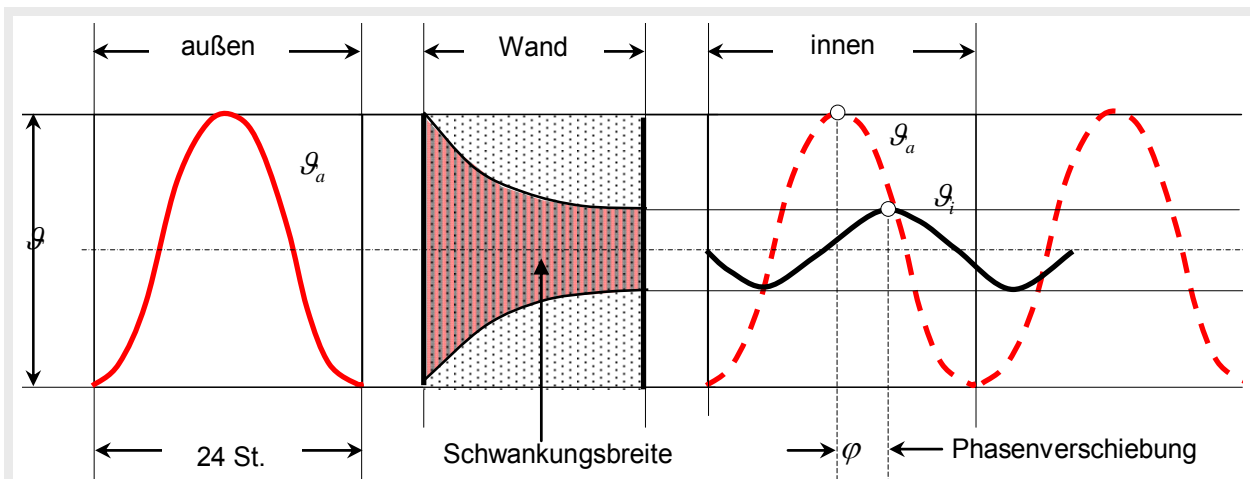


Abb. A3.03: Temperaturverlauf in einer Wand bei periodisch veränderlicher äußerer Oberflächentemperatur (Recknagel et al., 2005)

Berechnungsgrundlagen für die Phasenverschiebung ist die Temperaturleitzahl (a). Diese ist wiederum vom der Rohdichte (ρ), der Wärmeleitfähigkeit (λ) und der spezifischen Wärmekapazität c abhängig. Je kleiner die Temperaturleitzahl a , desto besser ist der sommerliche Wärmeschutz. Dieser wird erreicht, wenn die Wärmeleitfähigkeit gering ist, gleichzeitig die Rohdichte und die spezifische Wärmekapazität aber hoch sind. Die Temperaturleitzahl errechnet sich nach der Formel (F A3.15).

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \dots\dots\dots (F A3.15) \quad (24).$$

a : Temperaturleitzahl [m²/s] λ : Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
 ρ : Dichte [kg/m³] c : Spezifische Wärmekapazität [J/kgK]

Eine große Phasenverschiebung ergibt sich aus hohem Wärmedurchlasswiderstand ($1/\Lambda$) des Außenbauteils und hoher Wärmeeindringzahl (b) des Baustoffs. Sehr leichte Außenwände haben eine Phasenverschiebung von weniger als 3 Stunden, schwere Außenwände mit genügend hohem Wärmedurchlasswiderstand, z.B. Mauerwerkswände, erreichen ideale Werte um 12 h. Bei Konstruktionen mit nur mäßig hoher Phasenverschiebung von 4 bis 6 h lässt sich durch entsprechenden Schichtenaufbau ein voller Ausgleich durch die Dämpfung der Temperatur-Amplituden erreichen (Tab. A3.03).

Tab. A3.03: Einfluss von Wärmedämmung (R) und Speicherkapazität (S) auf Temperatur-Amplitudendämpfung (Θ) und Phasenverschiebung (Φ) bei einigen Baumaterialien ⁽²⁵⁾

Material	(d) [m]	(ρ) [kg/m ³]	(λ) [W/m K]	(c) [Wh/kg K]	(R) [m ² K/W]	(S) [Wh/m ² K]	(Θ)	(Φ) [h]
Styropor	0,20	20	0,035	0,41	5,74	1,6	1,5	3,7
Schwerbeton	0,20	2400	2,1	0,28	0,095	134,4	1,7	4,5
Nadelholz	0,20	600	0,14	0,58	1,43	69,6	12,7	12,3
Hochlochziegel	0,365	1400	0,60	0,26	0,61	132,9	10,7	11,7
Asbestzement	0,005	2000	0,58	0,28	0,60	137,4	17,3	6,1
Beton	0,20	2400	2,1	0,28	0,60	137,4	2,1	5,3

(23) http://www.klausroggel.de/waer_spei.htm

(24) http://www.klausroggel.de/waer_spei.htm; (25) http://www.klausroggel.de/waer_spei.htm

Die Phasenverschiebung ist eng mit dem Temperatur-Amplituden-Verhältnis verbunden. Ist das TAV klein (0,25 bis 0,20), spielt die Phasenverschiebung in der Regel keine Rolle; ist es relativ groß (0,70 bis 1,00), müssen die Orientierung des Bauteils und die Raumnutzung berücksichtigt werden. Je kleiner das Temperatur-Amplituden-Verhältnis, desto günstiger ist das Verhalten des Baustoffes in Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz einzustufen. Als günstig ist anzunehmen, wenn die Temperatur der inneren Wandoberfläche auf etwa den 0,25- bis 0,20-fachen Wert der Temperatur der äußeren Wandoberfläche gedämpft wird. TAV-Werte von über 0,40 erfordern bei entsprechender Raumnutzung hohe Aufwendungen durch Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten für Klimatisierung.

Die Abbildung A3.04 zeigt, dass ein Bauteil aus Wärmedämmstoff mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit und einer niedrigeren Rohdichte, das einen hervorragenden winterlichen Wärmeschutz bietet, jedoch gerade wegen seiner geringen Rohdichte nicht auch automatisch „sommertauglich“ ist. Ebenso ungünstig ist eine homogene Wand aus einem sehr schweren Baustoff und einer großen Wärmeleitfähigkeit.

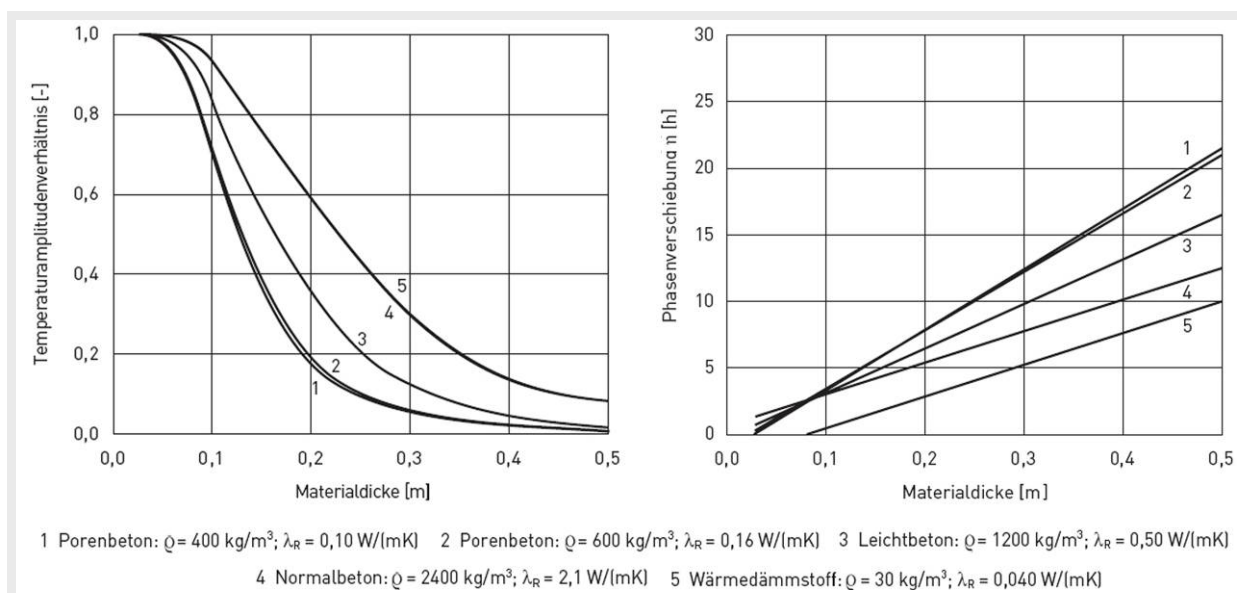


Abb. A3.04: Temperatur-Amplituden-Verhältnis (links) und Phasenverschiebung (rechts) homogener Schichten abhängig von der Materialdicke ⁽²⁶⁾

Kurzfassung

Schlüsselwörter: *Stallgebäude, Milchvieh, arides und semiarides Klima, Umgebungsklima für Rinder, Gebäudelüftung und -kühlung, Baumaterial.*

Globale Statistiken (FAO) deuten für aride und semiaride Länder auf einen Mangel bei der Milchproduktion hin. Die Unterversorgung ist nicht nur auf die geringe Milchleistung der einheimischen Rassen, sondern auch auf schlechte, vorhandene Stallbausysteme zurückzuführen. Die Mehrzahl der Milchviehhaltungsgebäude entspricht dort nicht dem geforderten Standard, vor allem im Hinblick auf ein tierangepasstes Umgebungsklima. In konventionell errichteten, geschlossenen Stallgebäuden, die aus Stahlbeton gebaut sind, führen die Erwärmung durch Sonneneinstrahlung, die Wärmeabgabe der Tiere und die Schadgasentwicklung durch Exkremente zu einem äußerst problematischen Stallklima. Bei Offenställen liegt die Innentemperatur oft nur gering unter der Außenlufttemperatur – oft jedoch höher. Eine Regulierung durch Kühltechnik scheidet in der Regel wegen der damit verbundenen Verfahrenskosten aus.

Viele neue Material- und Konstruktionsentwicklungen zielen auf die Kostenreduzierung für Wohngebäude ab, die auch für Ställe eingesetzt wurden. Allerdings wurden diese Entwicklungen selten unter realen landwirtschaftlichen Bedingungen geprüft; darüber hinaus haben die Planer meistens wenig Erfahrungen mit Materialien und Konstruktionsmethoden für die Rinderhaltung, was zu unbefriedigenden Lösungen für die Kühe führt. Daher soll diese Arbeit neue Möglichkeiten für den Bau von Milchviehställen in ariden und semiariden Gebieten aufzeigen. Insbesondere sollen Vorschläge erarbeitet werden, damit die Stallinnentemperatur abgesenkt werden kann; dies soll erfolgen durch eine den Anforderungen (von Tier und Mensch) angepasste Planung, unter Verwendung von „natürlichen Baumaterialien“ bei „freier Lüftung“. Damit soll die Arbeit dazu beitragen, Grundlagen für die Errichtung neuer Milchviehställe in Syrien und ähnlichen Ländern zu schaffen.

Die Arbeit gliedert sich in drei Teile. Der 1. Teil besteht aus dem allgemeinen Überblick zur Rinderhaltung, zu klimatischen Gegebenheiten Syriens und zu optimalen Grundlagen der Milchviehhaltung bezüglich Stallbauplanung sowie der Lüftungs- und Kühlmethoden. Der 2. Teil umfasst einige begleitende, experimentelle bauphysikalische Untersuchungen. Im 3. Teil werden die gewonnenen Erkenntnisse in Form von Entwürfen für moderne Ställe in semiariden und ariden Gebieten (z.B. Syrien) umgesetzt.

Durch die Versuchsergebnisse in Kombination mit der theoretischen Betrachtung zeigen sich Möglichkeiten, das Stallklima von Milchviehställen in ariden und semiariden Gebieten positiv im Sinne einer gesteigerten Milchleistung sowie der Gesundheit der Kühe zu beeinflussen. Demnach können eine gezielte Materialauswahl, eine überlegte Dimensionierung der Dicke von massiven Stallaußenwänden unter Berücksichtigung der Himmelsrichtung dazu beitragen, dass auch in diesen Regionen Milchkühe ohne hohen technischen Aufwand gehalten werden können. Die Lösungsvorschläge für die Stallgebäude werden mit einfachen und traditionellen Methoden der Klimagestaltung geplant, was zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs für die notwendige Kühlung beitragen soll. Die traditionellen passiven Kühlungssysteme, die für Wohngebäude verwendet werden, werden hierfür angepasst und weiterentwickelt. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei der Umgebungsluftqualität der Tiere. Dazu werden verschiedene Methoden angewandt wie Windfänge, Innenhöfe und Ventilatoren, aber auch der Temperaturunterschied von Tag und Nacht sowie die Abkühlung durch das Erdreich sollen genutzt werden und mit anderen Methoden wie Verneblungs- oder Verdampfungskühlung kombiniert werden. Die Verdunstungskühlungsmethode reduziert den Hitzestress und verbessert den Komfort und die Milchproduktion von Milchkühen während der Sommersaison. Die Kombination mehrerer Kühlmethoden wurde modellhaft geprüft, um das große Volumen des Stalls effizient zu kühlen.

Die in der Arbeit aufgezeigten drei Varianten sollen zeigen, ob konstruktive Lösungen mit geringen Unterhaltskosten eine Möglichkeit bieten, in ariden und semiariden Gebieten Milch zu akzeptablen Herstellungskosten zu produzieren. Mit Hilfe von Literaturauswertungen, Temperaturmessreihen, Modellversuchen und Strömungsberechnungen werden die entwickelten Stallmodelle in Massivbauweise mit einer „halboffenen“ Variante und einer Leichtbaukonstruktion im Hinblick auf ihre Wirkung und Effizienz verglichen.

Diese Arbeit ist Grundlage für die Planung optimaler und ökologischer Stallbauten für die Milchviehhaltung in ariden und semiariden Gebieten. Sie überträgt die Grundlagen der europäischen Milchviehhaltung in Entwicklungsländer unter Berücksichtigung der dort vorherrschenden Rahmenbedingungen hinsichtlich Klima, Verfahrenstechnik, Funktionsabläufe, vorhandener Baustoffe und weiterer Gegebenheiten.

Summary

Keywords: *Barn, Dairy cattle, arid und semi-arid climate, Ambient climate for cattle, ventilation and cooling of buildings, Building materials.*

Global statistics (FAO) point to a lack of milk production in arid and semi-arid countries. The lack of availability is not only due to the minimal milk yields of domestic breeds, but also to the poor quality of existing housing systems. The majority of dairy barn buildings does not meet required standards, particularly with regard to the animal appropriate ambient climate. In conventionally built closed stables, built of steel cement, the warming through sunrays, the warmth exuded by the animals and the pollutant gas development through excrements lead to an extremely difficult stable climate. In open stables, the interior temperatures are often just slightly below the external air temperature – sometimes higher. A regulation through air conditioning is generally not possible due to the processing costs.

Many new material and construction developments target the reduction of costs for houses and are also applied to stables. However, these developments are seldom tested under true agricultural conditions. In addition the planners mostly have little experience with materials and construction methods for cattle keeping, which leads to unsatisfactory solutions for the cows. For this reason, this paper should illustrate new possibilities for the construction of dairy stables in arid and semiarid areas. In particular, recommendations to reduce the stable temperature shall be made. Here, planning should be in accordance with the needs of animals and humans, using “natural construction materials” with “free ventilation.” Thus the paper should contribute to the creation of basics for the construction of new dairy barns in Syria and similar countries.

The thesis is divided into three parts. The first part consists of a general overview of cattle husbandry, the climatic conditions in Syria and optimal basics for dairy cattle husbandry with regard to stable planning, ventilation and cooling methods. Part 2 includes some accompanying experiment and construction physical studies. In Part 3, the knowledge gained is implemented in the form of drafts for modern stables in semi arid and arid areas (for example, Syria).

Through the experimental results in combination with the theoretical considerations, the possibilities for stable climates in dairy stables in arid and semi arid areas are positive from the perspective of increased milk yield and the health of cows. Accordingly, a selective choice of materials, a planned dimensioning of the thickness of massive stable external walls and consideration the geographical direction of the stable help in the keeping of dairy cows in these regions without high technical input. The solutions recommended for the stable buildings are planned with simple and traditional methods for climate, leading to a reduction of energy use for the necessary cooling. The traditionally passive cooling systems used for houses are adapted for this purpose and developed further. A particular look is given to the ambient air quality for the animals. For this purpose, various methods are used including wind-catchers, inner courtyards and fans, but also the temperature differences from day and night as well as cooling through the earth areas shall be used and combined with other methods such as sprayers or evaporative cooling.

The three variations described in the thesis should show whether constructive solutions with minimal maintenance costs present an opportunity to produce milk in arid and semiarid areas at an acceptable price. With the help of literature surveys, temperature measurement series, model experiments and flow measurements, the stable models developed are compared in a massive construction style with a half open variation and a light construction variation with regard to their impact and efficiency.

This thesis is that basis for planning optimal and ecological stables for the dairy cattle husbandry in arid and semi arid areas. It conveys the basics of European dairy cattle keeping in developing countries while considering the conditions prevailing there with regard to climate, process engineering, functional processes, available construction materials and other factors.

Danksagung

Für meine Doktorarbeit schulde ich sehr vielen Menschen einen herzlichen Dank. Ein besonderes Wort des Dankes möchte ich an meine Doktorväter richten, **Herrn Professor Dr. agr. habil. Franz-Josef Bockisch (Leiter des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL) und Herrn Professor Dipl.-Ing. Per Krusche (Leiter des Instituts für Entwicklungsplanung und Siedlungswesen der TU-Braunschweig)**, ohne die ich niemals ein Licht am Ende der Doktorarbeit gesehen hätte. Sie brachten mir sehr viel Geduld entgegen und sorgten mit wertvollen Ratschlägen für das Gelingen der Arbeit. Sie ermöglichten mir eine weitgehend selbständige Durchführung meiner Promotionsarbeit und trugen durch zahlreiche Denkanstöße und wertvolle Hinweise sowie stete Diskussionsbereitschaft maßgeblich zu deren Gelingen bei. Nicht nur in fachspezifischen, sondern auch in privaten Gesprächen haben sie immer dafür gesorgt, dass ich nicht vom rechten Pfad abgekommen bin. Besonderer Dank gilt auch meinem Lehrer und Doktorvater von der syrischen Seite, **Herrn Professor Dr.-Ing. Zuhair Jabbour**. Ebenso bedanke ich mich herzlich für das Mitwirken als Vorsitzender der Prüfungskommission, bei **Herrn Professor Dr.-Ing. M. Norbert Fisch**.

Danken möchte ich den ehemaligen Mitarbeiterinnen vom Institut für Entwicklungsplanung und Siedlungswesen der TU-Braunschweig **Frau Daniela Balke und Herrn Dipl.-Ing. Bernd Schmidbauer**.

Die Durchführung dieser Arbeit wäre ohne die Hilfe des ehemaligen Institutes für Betriebstechnik und Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) nicht möglich gewesen. Deshalb möchte ich alle Mitarbeiter dieses Instituts dankend erwähnen. Ein besonderer Dank gilt **Herrn Dipl.-Ing. Karl-Wilhelm Haake** für seine freundliche und vielfältige Hilfe bei der Betreuung meiner Arbeit. Auch **Herrn Dr. Jan-Gerd Krentler, Herrn Dr. Klaus Walter, Herrn Dr. Heiko Georg, Frau Birte Wolf, Frau Lieselotte Kaczmarek und Frau Rita Schäfer** haben mich vielfach unterstützt, wofür ich ihnen sehr danke.

Vom Institut Agrartechnologie und Biosystemtechnik möchte ich auch **Herrn Dr. Karl-Heinz Krause und Herrn Stefan Linke** für Ihre Hilfe in der Versuchsdurchführung und für die zahlreichen wissenschaftlichen Empfehlungen danken.

Auch möchte ich mich bei meinen Freunden bedanken. Hier sind insbesondere **Frau Maria Hagemann und Herrn Dipl.-Ing. agr. Bernhard Forstner** zu nennen, die hilfreiche Hinweise gegeben und zu anregenden Diskussionen beigetragen haben.

Dann will ich dem Katholischen Akademischen Ausländer-Dienst (KAAD) und der Katholischen Hochschulgemeinde (KHG) Kassel, und hier vor allem **Herrn Hans Landsberg und Herrn Wolfgang Spiegel** für die religiöse, moralische und finanzielle Unterstützung danken.

Einen besonderen Dank möchte ich an die **Al-Baath Universität** richten, ohne deren Förderung mein Promotionsvorhaben kaum durchführbar gewesen wäre.

Dies alles wäre nicht möglich gewesen, wenn nicht meine Eltern mich auf meinem Lebensweg stets unterstützt hätten. Ich bin ihnen unendlich dankbar dafür. Gleiches gilt für meine Schwiegereltern, die mich immer positiv begleitet haben.

Meiner wundervollen Frau **Majed** möchte ich ein besonderes Dankeschön sagen für ihr Vertrauen in meine Arbeit und für ihre Geduld mit mir. Sie hat mich immerzu motiviert und mir deutlich gemacht, dass das Leben wunderschön ist. Schließlich soll mein Sohn **Marius** erwähnt werden, der zwar durch seine Geburt maßgeblich zur Verzögerung dieser Arbeit beigetragen, aber als Gegenleistung seither jeden meiner Tage verzaubert. Die vielfältige Unterstützung meiner Familie ist nicht mit Worten zu beschreiben und ich hoffe, dass ich ihr einiges künftig wieder zurückgeben kann.

Braunschweig/Kassel im Dezember 2009

Lebenslauf

1. Persönliche Daten **Dipl.-Ing. (Arch.) Marwan Georges**

Geburtsdatum und -ort: 10.10.1969 – Syrien
Familienstand: Verheiratet – ein Kind
Staatsangehörigkeit: Syrisch
Religion: Christlich
Derzeitige Anschrift: Magazinstr. 15
34125 Kassel
EMail: georges@hotmail.de



2. Schulische Ausbildung

1975 - 1987: Gymnasium in Homs-Syrien, Abschluss Abitur

3. Hochschulische Ausbildung

1988 - 1992: Architekturstudium an der Al Baath Universität, Architektur Fakultät, mit Abschluss B.Sc., Note: Gut
2000 - 2004: Architekturstudium an der TU - Braunschweig, mit Abschluss Diplom, Note: Gut
2004 - 2009: Promotion an der TU - Braunschweig und Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), mit Abschluss: Sehr Gut

4. Berufliche Tätigkeit

1993 - 1999: Wissenschaftlicher Assistent an der Al Baath Universität - Architektur Fakultät

5. Praktische Tätigkeit und Aktivitäten

1993 -1999: Mitarbeiter im Architekturbüro in Homs. Planung und Ausführung von architektonischen Projekten in Syrien

6. Sprachkenntnisse

Deutsch: Sehr Gut
Englisch: Gut
Arabisch: Muttersprache

7. EDV-Kenntnisse

Office (Word, PowerPoint, Excel), Photoshop, CAD